

PCT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION CONCERNING
SUBMISSION OR TRANSMITTAL
OF PRIORITY DOCUMENT

(PCT Administrative Instructions, Section 411)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

TATEISHI, Atsuji
Paseo Building, 5th Floor
4-20, Haramachida 5-chome
Machida-shi, Tokyo 194-0013
JAPON

Date of mailing (day/month/year) 03 November 2000 (03.11.00)	
Applicant's or agent's file reference FNI00048	IMPORTANT NOTIFICATION
International application No. PCT/JP00/05875	International filing date (day/month/year) 30 August 2000 (30.08.00)
International publication date (day/month/year) Not yet published	Priority date (day/month/year) 10 September 1999 (10.09.99)
Applicant NIKON CORPORATION et al	

1. The applicant is hereby notified of the date of receipt (except where the letters "NR" appear in the right-hand column) by the International Bureau of the priority document(s) relating to the earlier application(s) indicated below. Unless otherwise indicated by an asterisk appearing next to a date of receipt, or by the letters "NR", in the right-hand column, the priority document concerned was submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b).
2. This updates and replaces any previously issued notification concerning submission or transmittal of priority documents.
3. An asterisk(*) appearing next to a date of receipt, in the right-hand column, denotes a priority document submitted or transmitted to the International Bureau but not in compliance with Rule 17.1(a) or (b). In such a case, **the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(c)** which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.
4. The letters "NR" appearing in the right-hand column denote a priority document which was not received by the International Bureau or which the applicant did not request the receiving Office to prepare and transmit to the International Bureau, as provided by Rule 17.1(a) or (b), respectively. In such a case, **the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(c)** which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.

<u>Priority date</u>	<u>Priority application No.</u>	<u>Country or regional Office or PCT receiving Office</u>	<u>Date of receipt of priority document</u>
10 Sept 1999 (10.09.99)	11/257969	JP	20 Octo 2000 (20.10.00)
10 Sept 1999 (10.09.99)	11/258089	JP	20 Octo 2000 (20.10.00)
13 Sept 1999 (13.09.99)	11/259615	JP	20 Octo 2000 (20.10.00)
24 May 2000 (24.05.00)	2000/153320	JP	20 Octo 2000 (20.10.00)
26 June 2000 (26.06.00)	2000/190826	JP	20 Octo 2000 (20.10.00)

The International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No. (41-22) 740.14.35

Authorized officer

S. Mandallaz

Telephone No. (41-22) 338.83.38

PCT

NOTICE INFORMING THE APPLICANT OF THE
COMMUNICATION OF THE INTERNATIONAL
APPLICATION TO THE DESIGNATED OFFICES

(PCT Rule 47.1(c), first sentence)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

TATEISHI, Atsuji
Paseo Building, 5th Floor
4-20, Haramachida 5-chome
Machida-shi, Tokyo 194-0013
JAPON

Date of mailing (day/month/year) 22 March 2001 (22.03.01)		
Applicant's or agent's file reference FNI00048		IMPORTANT NOTICE
International application No. PCT/JP00/05875	International filing date (day/month/year) 30 August 2000 (30.08.00)	
Priority date (day/month/year) 10 September 1999 (10.09.99)		
Applicant NIKON CORPORATION et al		

1. Notice is hereby given that the International Bureau has communicated, as provided in Article 20, the international application to the following designated Offices on the date indicated above as the date of mailing of this Notice:
AU, KP, KR, US

In accordance with Rule 47.1(c), third sentence, those Offices will accept the present Notice as conclusive evidence that the communication of the international application has duly taken place on the date of mailing indicated above and no copy of the international application is required to be furnished by the applicant to the designated Office(s).

2. The following designated Offices have waived the requirement for such a communication at this time:
AE, AL, AP, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CR, CU, CZ, DM, DZ, EA, EE, EP, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, LC, LK, LR, LT, LV, MA, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, OA, PL, RO, SG, SI, SK, TR, TT, UA, UZ, VN, YU, ZA

The communication will be made to those Offices only upon their request. Furthermore, those Offices do not require the applicant to furnish a copy of the international application (Rule 49.1(a-bis)).

3. Enclosed with this Notice is a copy of the international application as published by the International Bureau on
22 March 2001 (22.03.01) under No. WO 01/20733

REMINDER REGARDING CHAPTER II (Article 31(2)(a) and Rule 54.2)

If the applicant wishes to postpone entry into the national phase until 30 months (or later in some Offices) from the priority date, a demand for international preliminary examination must be filed with the competent International Preliminary Examining Authority before the expiration of 19 months from the priority date.

It is the applicant's sole responsibility to monitor the 19-month time limit.

Note that only an applicant who is a national or resident of a PCT Contracting State which is bound by Chapter II has the right to file a demand for international preliminary examination.

REMINDER REGARDING ENTRY INTO THE NATIONAL PHASE (Article 22 or 39(1))

If the applicant wishes to proceed with the international application in the national phase, he must, within 20 months or 30 months, or later in some Offices, perform the acts referred to therein before each designated or elected Office.

For further important information on the time limits and acts to be performed for entering the national phase, see the Annex to Form PCT/IB/301 (Notification of Receipt of Record Copy) and Volume II of the PCT Applicant's Guide.

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland	Authorized officer J. Zahra
Facsimile No. (41-22) 740.14.35	Telephone No. (41-22) 338.83.38



1
1
1
1

国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)
〔PCT18条、PCT規則43、44〕

出願人又は代理人 の書類記号 FNI00048	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220) 及び下記5を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JPO0/05875	国際出願日 (日.月.年) 30.08.00	優先日 (日.月.年) 10.09.99
出願人(氏名又は名称) 株式会社ニコン		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 5 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記録した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☒ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、

第 2 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。



第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項(PCT17条(2)(a))の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

1. 請求の範囲1-30, 40-42, 77-80, 85-86は、複数の光ファイバから成るファイバ群又は複数の光経路を有する光増幅部と各光ファイバ又は各光経路からの光出力を個別にオン・オフすることにより前記ファイバ群又は前記光増幅部から出力される光の光量を制御する制御装置を備える点に技術的特徴のある単一波長の光を発生する光源装置又は露光装置に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、

2. 請求の範囲31-42, 83-84, 86は、単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光をパルス光に変換する光変調器とを有する光発生部と、前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と、前記パル

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。
請求の範囲1-30, 40-42, 77-80, 85, 86, 102, 103

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見の続き

ス光のピークパワーを制御する制御装置を備える点に技術的特徴のある光源装置又は露光装置に関するものであり、請求の範囲96-98は、その露光装置において適用される露光方法に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、

3. 請求の範囲43-52は、ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションを行う第1の制御装置を備える点に技術的特徴のある光源装置に関するものであり、

4. 請求の範囲53-65, 92は、複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と、前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置を備える点に技術的特徴のある光源装置又は露光装置に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、

5. 請求の範囲66-70, 93-95は、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光導波路部材を含み、入射光を増幅する光増幅器を備える点に技術的特徴のある光源装置又は露光装置に関するものであり、請求の範囲101は、その露光装置において適用される調整方法に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、

6. 請求の範囲71-76, 99-100は、レーザ光の波長を検出する波長検出装置の検出基準波長の温度依存性を予め測定する第1工程と、設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して前記波長検出装置の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行う第2工程と、第1工程で求めた前記温度依存性に基づいて、前記波長検出装置の前記検出基準波長を前期設定波長に設定する第3工程を含む点に技術的特徴のある波長安定化制御方法又は露光方法に関するものであり、請求の範囲87-90は、その制御方法又は露光方法を使用するための制御装置を備える露光装置に関するものであり、請求の範囲104-105は、その露光方法をリソグラフィ工程で用いるデバイス製造方法及びデバイスに関するものであり、

7. 請求の範囲81-82, 84, 86は、単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光をパルス光に変換する光変調器とを有する光発生部と、前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と、前記パルス光の周波数を制御する制御装置を備える点に技術的特徴のある露光装置に関するものであり、請求の範囲96-98は、その露光装置において適用される露光方法に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、請求の範囲104-105は、その露光方法をリソグラフィ工程で用いるデバイス製造方法及びデバイスに関するものであり、

8. 請求の範囲91は、波長が変更されたとき、その波長変更に伴って生じる感光剤の感度特性の変化量に応じて基板に与えられる積算露光量を制御する露光量制御装置を備える点に技術的特徴のある露光装置に関するものである。

そして、これら8つの発明群の間に一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係があるものとは認められない。



A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S3/131, 3/00
G02F1/01, 1/37

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S3/00-3/30
G02F1/00-1/125, 1/35-1/39

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1940-1996
日本国公開実用新案公報 1971-1996
日本国登録実用新案公報 1994-2000
日本国実用新案登録公報 1996-2000

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 08-334803, A (株式会社ニコン) 17. 12月. 1996 (17. 12. 96) 図1、請求項1-4、段落39-45, 50, 146 (ファミリーなし)	1-30, 40-42, 77-80, 85, 86, 102, 103
Y	EP, 889335, A2 (Hoya Corporation) 7. 1月. 1999 (07. 01. 99) Fig. 1、Claim 1 & JP, 11-023878, A	1-30, 40-42, 77-80, 85, 86, 102, 103
Y	EP, 859435, A2 (Corning Incorporated, Northern Telecom Limited) 19. 8月. 1998 (19. 08. 98) Fig. 14、p. 12-13	7, 8, 19-21, 40-42

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

29. 11. 00

国際調査報告の発送日

12.12.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小原 博生

2K

8102

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	& JP, 11-068216, A & GB, 2322228, A & AU, 5301498, A & WO, 98036294, A	
A	JP, 04-022928, A (日本電気株式会社) 27. 1月. 1992 (27. 01. 92) 全文 (ファミリーなし)	7, 8
A	JP, 03-235924, A (日本電信電話株式会社) 21. 10月. 1991 (21. 10. 91) 第5図、実施例3 (ファミリーなし)	7, 8
A	JP, 05-291676, A (日本電信電話株式会社) 5. 11月. 1993 (05. 11. 93) 請求項1 (ファミリーなし)	19-21, 40-42
A	JP, 05-037066, A (日本電気株式会社) 12. 2月. 1993 (12. 02. 93) 全文 (ファミリーなし)	19-21, 40-42
A	JP, 59-055083, A (富士通株式会社) 29. 3月. 1984 (29. 03. 84) 全文 (ファミリーなし)	19-21, 40-42
A	US, 4790619, A (American Telephone and Telegraph Company) 13. 12月. 1988 (13. 12. 88) Claim 1, 3 & JP, 63-011916, A & EP, 248517, A 2 & DK, 207887, A & CA, 1277404, A	21, 42
A	US, 4923279, A (British Telecommunications plc) 8. 5月. 1990 (08. 05. 90) 第2欄第18-24行 & JP, 01-145881, A & EP, 313209, A 1 & GB, 8724736, A & CA, 1327845, A & GR, 3006615, T & ES, 2052736, T & HK, 128796, A & SG, 47966, A & DE, 3856092, T	21, 42
A	JP, 55-044758, A (日本電気株式会社) 29. 3月. 1980 (29. 03. 80) 全文 (ファミリーなし)	21, 42
A	JP, 54-125189, A (松下電器産業株式会社) 28. 9月. 1979 (28. 09. 79) 全文 (ファミリーなし)	21, 42
A	JP, 11-004031, A (株式会社ニコン) 6. 1月. 1999 (06. 01. 99) 全文 (ファミリーなし)	20, 41, 42

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2001 年 3 月 22 日 (22.03.2001)

PCT

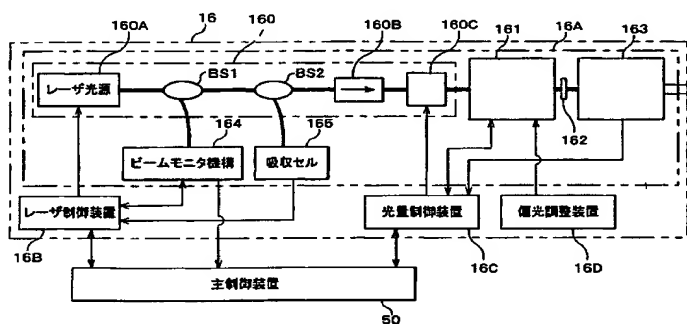
(10) 国際公開番号
WO 01/20733 A1

- | | | |
|---|-----------------------------------|--|
| (51) 国際特許分類 ⁷ : | H01S 3/131, 3/00, G02F 1/01, 1/37 | (72) 発明者; および |
| (21) 国際出願番号: | PCT/JP00/05875 | (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大槻朋子 (OHTSUKI, Tomoko) [JP/JP]. 大和壮一 (OWA, Soichi) [JP/JP]. 渥美二一 (ATSUMI, Niichi) [JP/JP]. 土肥正明 (DOI, Masaaki) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo (JP). |
| (22) 国際出願日: | 2000 年8 月30 日 (30.08.2000) | |
| (25) 国際出願の言語: | 日本語 | (74) 代理人: 立石篤司 (TETEISHI, Atsuji); 〒194-0013 東京都町田市原町田5丁目4番20号 パセオビル5階 Tokyo (JP). |
| (26) 国際公開の言語: | 日本語 | |
| (30) 優先権データ: | | (81) 指定国 (国内): AE, AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CR, CU, CZ, DM, DZ, EE, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MA, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, TR, TT, UA, US, UZ, VN, YU, ZA. |
| 特願平11/257969 | 1999 年9 月10 日 (10.09.1999) | JP |
| 特願平11/258089 | 1999 年9 月10 日 (10.09.1999) | JP |
| 特願平11/259615 | 1999 年9 月13 日 (13.09.1999) | JP |
| 特願2000/153320 | 2000 年5 月24 日 (24.05.2000) | JP |
| 特願2000/190826 | 2000 年6 月26 日 (26.06.2000) | JP |
| (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo (JP). | | (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, |

〔続葉有〕

(54) Title: LIGHT SOURCE AND WAVELENGTH STABILIZATION CONTROL METHOD, EXPOSURE APPARATUS AND EXPOSURE METHOD, METHOD FOR PRODUCING EXPOSURE APPARATUS, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD AND DEVICE

(54) 発明の名称: 光源装置及び波長安定化制御方法、露光装置及び露光方法、露光装置の製造方法、並びにデバイス製造方法及びデバイス



- ```

160A...LASER LIGHT SOURCE 50...MAIN CONTROLLER
16B...LASER CONTROLLER 16C...LIGHT INTENSITY CONTROLLER
164...BEAM MONITOR MECHANISM 16D...POLARIZATION ADJUSTER
165...ABSORPTION CELL

```

**(S7) Abstract:** A light source (16) comprises a light producing unit (160) having a single wavelength producing light source (160A) and a light modulator (160c) for converting light from the light source to an optical pulse and outputting the optical pulse, an optical amplifying unit (161) having a group of optical fibers each provided with a fiber amplifier for amplifying the optical pulse from the light modulator, and a light intensity control unit (16c). The light intensity control unit (16c) controls stepwise the intensity of light outputted from each optical fiber by turning on/off the output separately and controls the intensity of light such as at least either the control of frequency of the optical pulse from the light modulator or the peak power thereof. Therefore it is possible to adjust minutely the intensity of light at each stage.

〔続葉有〕

**WO 01/20733 A1**



LU, MC, NL, PT, SE), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

in addition to the stepwise control of intensity of light, by controlling at least either the frequency of the optical pulse or the peak power thereof, thereby enabling the intensity of light to be controlled to any preset intensity if the intensity of light is in a predetermined range.

(57) 要約:

光源装置（16）は、単一波長発生光源（160A）と該光源からの光をパルス光に変換して出力する光変調器（160C）とを有する光発生部（160）と、光変調器からのパルス光を増幅するファイバアンプを各々有する光ファイバ群から成る光増幅部（161）と、光量制御装置（16C）とを備えている。光量制御装置（16C）は、光ファイバ群を構成する各ファイバの光出力の個別オン・オフによる段階的な光量制御と、光変調器の出力パルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方を制御する光量制御とを行う。従って、段階的な光量制御に加えて、各段階間の光量の微調整が前記パルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方の制御により可能になり、所定範囲内であれば如何なる設定光量にも光量を一致させることができる。

## 明 細 書

光源装置及び波長安定化制御方法、露光装置及び露光方法、露光装置の製造方法、並びにデバイス製造方法及びデバイス

### 技術分野

本発明は、光源装置及び波長安定化制御方法、露光装置及び露光方法、露光装置の製造方法、並びにデバイス製造方法及びデバイスに係り、更に詳しくは、半導体素子、液晶表示素子等を製造する際にリソグラフィ工程で用いられる露光装置の露光用光源として好適な光源装置及び該光源装置に好適に適用することができる波長安定化制御方法、前記光源装置を露光用光源として備えた露光装置及び該露光装置による露光方法、前記露光装置の製造方法、並びに前記露光装置又は露光方法を用いてデバイスを製造する方法及び該デバイス製造方法によって製造されるデバイスに関する。

### 背景技術

従来より、半導体素子（集積回路）、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、種々の露光装置が用いられている。近年では、この種の露光装置としては、フォトマスク又はレチクル上に形成された微細回路パターンを、表面にフォトリソグが塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に投影光学系を介して縮小投影し、転写する、いわゆるステッパあるいはいわゆるスキャニング・ステッパ等の縮小投影露光装置が、高いスループットを有する点から主流となっている。

しかるに、投影露光装置等の露光装置では、高スループットとともに高い解像力（解像度）が要請される。投影露光装置の解像力 $R$ 、焦点深度 $DOF$ は、露光用照明光の波長 $\lambda$ 、投影光学系の開口数 $N.A.$ を用いて、次式（１）、（２）

によってそれぞれ表される。

$$R = K \cdot \lambda / N. A. \quad \dots\dots (1)$$

$$D O F = \lambda / (N. A.)^2 / 2 \quad \dots\dots (2)$$

上記の式(1)から明らかなように、解像力R、すなわち解像できる最小パターン線幅をより小さくするために、①比例定数Kを小さくする、②N. A. を大きくする、③露光用照明光の波長 $\lambda$ を小さくする、の3つの方法が考えられる。ここで、比例定数Kは投影光学系やプロセスによって決まる定数であり、通常0.5～0.8程度の値をとる。この定数Kを小さくする方法は、広い意味での超解像と呼ばれている。今までに、投影光学系の改良、変形照明、位相シフトレチクルなどが提案、研究されてきた。しかし、適用できるパターンに制限があるなどの難点があった。

一方、開口数N. A. は式(1)からその値が大きいほど解像力Rを小さくできるが、このことは同時に式(2)から明らかなように焦点深度D O Fが浅くなってしまうことを意味する。このため、N. A. 値は大きくするにも限界があり、通常は0.5～0.6程度が適当とされている。

従って、解像力Rを小さくする最も単純かつ有効な方法は、露光用照明光の波長 $\lambda$ を小さくすることである。

かかる理由により、ステッパ等としては紫外域の輝線(g線、i線等)を出力する超高圧水銀ランプを露光用光源とするg線ステッパ、i線ステッパが従来主として用いられていたが、近年ではより短波長のKrFエキシマレーザ光(波長248nm)を出力するKrFエキシマレーザを光源とするKrFエキシマレーザ・ステッパが主流となりつつある。現在ではさらに短波長の光源としてArFエキシマレーザ(波長193nm)を使用する露光装置の開発が進められている。

しかしながら、エキシマレーザは大型であること、1パルスあたりのエネルギーが大きいことにより光学部品の損傷が生じやすいこと、有毒なフッ素ガスを

使用するためレーザのメンテナンスが煩雑でかつ費用が高額となるなどの、露光装置の光源として不利な点が存在する。

そこで、非線形光学結晶の非線形光学効果を利用して、長波長の光（赤外光、可視光）をより短波長の紫外光に変換し、こうして得られた紫外光を露光光として使用する方法が注目されている。こうした方法を採用した露光用光源としては、例えば特開平 8-334803 号公報に開示されているような、半導体レーザを備えたレーザ光発生部からの光を、波長変換部に設けた非線形光学結晶により波長変換し、紫外光を発生させる 1 つのレーザ要素を、複数本マトリックス状（例えば  $10 \times 10$ ）に束ねて一つの紫外光源とするアレイレーザなどが知られている。

このアレイレーザでは、個々に独立なレーザ要素を複数本束ねることによって、個々のレーザ要素の光出力を低く押さえつつ、装置全体の光出力を高出力とすることができる。しかし、個々のレーザ要素が独立していることから、各レーザ要素の発振スペクトルを一致させるためには、微妙な調整を必要とし、かつ非常に複雑な構成を採用することが必要であった。

そこで、レーザ発振源を 1 つとし、このレーザ発振源から射出されたレーザ光を分岐するとともに、各分岐光を増幅した後、共通の非線形光学結晶で波長変換する方法が考えられる。この方法を採用する場合、レーザ光の引き回しには光ファイバを使用することが便宜であり、非線形光学結晶へは束ねられた複数の光ファイバから射出された複数の光束を入射させる構成が、構造の簡単さ、出力ビーム径小型化、メンテナンス性の観点から最適である。

また、非線形光学結晶を使用して、非線形光学効果により 2 倍高調波等を効率良く発生させるためには、非線形光学結晶の結晶方向に応じた特定の方向の直線偏光を非線形光学結晶に入射させることが必要である。しかし、複数の光ファイバから射出される直線偏光の方向を揃えることは、一般に困難である。これは、例えば偏波面保持ファイバを使用し、直線偏光を導波した場合であって

も光ファイバはほぼ円形の断面形状を有しているので、光ファイバの外形形状からは、直線偏光の方向を特定することができないからである。

また、周知の如く、上述したような短波長域のエキシマレーザ光を使用した場合、主として材料の透過率の問題から、投影光学系のレンズに利用できる素材は現時点では合成石英、ホタル石、あるいはフッ化リチウム等のフッ化物結晶等の材料に限られている。

しかし、投影光学系にこのような石英やホタル石等のレンズを使用した場合には、実質的に色収差の補正が難しいので、色収差の発生による結像性能の劣化を防ぐために、エキシマレーザ光の発振スペクトル幅を狭める、いわゆる波長の狭帯域化が必要となる。この波長の狭帯域化は、例えばレーザ共振器に設けられた狭帯域化モジュール（例えばプリズムとグレーティング（回折格子）とを組み合わせたものや、エタロン等の光学素子が用いられる）を使用して行われ、露光中投影光学系に供給されるエキシマレーザ光の波長のスペクトル幅を常に所定の波長幅に収めると同時に、その中心波長を所定の波長に維持するための、いわゆる波長安定化の制御が必要となる。

上記の波長安定化の制御を実現するためには、エキシマレーザ光の光学特性（中心波長及びスペクトル半値幅等）をモニタする必要がある。エキシマレーザ装置の波長モニタ部は、一般にファブリペロー分光器であるファブリペロー・エタロン（Fabry-Perot etalon：以下、「エタロン素子」ともいう）を中心として構成されている。

また、半導体素子の高集積化に伴いパターン線幅がますます微細化し、ステッパ等の露光装置には、露光精度、例えばマスクと基板との重ね合せ精度のますますの向上が求められるようになってきた。この重ね合せ精度は投影光学系のディストーション成分等の収差を如何に抑えるかに左右される。このため、露光装置には、露光用照明光の中心波長の安定性及びますますの狭帯域化が求められるようになってきた。この内、狭帯域化に対処する手法としては、レー



ザ光源そのものとして、単一波長光源を採用することが考えられる。

一方、投影光学系は所定の露光波長にのみ合わせて調整されているため、中心波長を安定に維持できなければ、結果的に投影光学系の色収差が発生したり、投影光学系の倍率、ディストーション及びフォーカス等の結像特性が変動してしまうため、中心波長の安定性を維持することは必要不可欠である。

しかしながら、エタロン素子はエタロン雰囲気温度や圧力の影響を受けるため、エタロン雰囲気温度変動や大気圧変動の影響が無視出来なくなる。

また、デバイスルール（実用最小線幅）は、将来的にますます微細化することは確実であり、次世代の露光装置ではますます高い重ね合わせ精度が要求される。この重ね合わせ精度は、例えばディストーション成分を如何に抑えるかに左右される。また、焦点深度の増大の為には、UDOF（ユーザブルDOF）の増化及びフォーカスの安定性が必要になる。いずれも、高度な中心波長の安定性及びスペクトル半値幅の制御性が要求される。

また、露光装置にはウエハ毎のレジスト感度等の違いにあわせた露光量制御性能を実現することが求められ、広いダイナミックレンジ、典型的には1～1／7程度が求められる。従来のエキシマレーザを光源とする露光装置では、上記のウエハ毎のレジスト感度等の違いにあわせた露光量制御のために、例えばNDフィルタ等のエネルギー粗調器が用いられている。

しかしながら、かかる手法による場合には、透過率が較正されたNDフィルタが必要であり、NDフィルタの耐久性、透過率の経時変化も問題になる。さらに、最大光量の1／7の露光量しか必要としない場合でも、エキシマレーザは最大出力強度で動作し、出力光の6／7は露光には使用されず無駄になる。また、光学部品消耗、消費電力の点でも難点があった。

現状の露光装置には、上記のウエハ毎のレジスト感度等の違いにあわせた光量制御性能（以下、適宜「第1の露光量制御性能」と呼ぶ）の他、同一ウエハ内におけるショット領域（チップ）毎のプロセスばらつきを補正する露光量制

御性能（以下、適宜「第2の露光量制御性能」と呼ぶ）が要求される。また、スキャニング・ステッパの場合には、ショット領域内の線幅均一性を実現するための露光量制御性能（以下、適宜「第3の露光量制御性能」と呼ぶ）が更に要求される。

現状の露光装置では、上記の第2の露光量制御性能として、ダイナミックレンジが設定露光量の $\pm 10\%$ 程度、ショット間ステップング時間である $100\text{ ms}$ 程度の時間内に設定値に制御すること、制御精度として設定露光量の $\pm 1\%$ 程度が要求されている。

また、上記第3の露光量制御性能としては、制御精度として典型的には1ショットの露光時間である $20\text{ msec}$ の時間内に設定露光量の $\pm 0.2\%$ に設定すること、制御速度 $1\text{ ms}$ 程度が要求されている。

従って、露光装置の光源として、上記第1～第3の露光量制御性能を実現するためにも、制御に必要な要請に応じた制御を行うことができる光源装置の出現が期待されている。ここで、制御に必要な要請とは、(a)制御のダイナミックレンジ、(b)制御精度、(c)制御速度、(d)検出光強度と制御量とのリニアリティの程度、(e)省電力を目的とするエネルギーセーブの機能等である。

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、上記の制御に必要な要請に応じた光量制御を行うことができる光源装置を提供することにある。

本発明の第2の目的は、レーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持することができる光源装置を提供することにある。

本発明の第3の目的は、簡単な構成で偏光状態を制御しつつ所定の光を発生することができる光源装置を提供することにある。

本発明の第4の目的は、レーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持することができる波長安定化制御方法を提供することにある。

本発明の第5の目的は、要求される露光量制御を容易に実現することができ

る露光装置を提供することにある。

本発明の第6の目的は、雰囲気温度の変動等に影響されず、高精度な露光を行うことができる露光装置を提供することにある。

本発明の第7の目的は、感光剤の感度特性の変化によらず精度良く露光を行うことができる露光装置を提供することにある。

本発明の第8の目的は、効率的に所定のパターンを基板に転写することができる露光装置を提供することにある。

本発明の第9の目的は、要求される露光量制御を容易に実現することができる露光方法を提供することにある。

本発明の第10の目的は、雰囲気温度の変動等に影響されず、高精度な露光を行うことができる露光方法を提供することにある。

本発明の第11の目的は、高集積度のマイクロデバイスの生産性を向上することができるデバイス製造方法を提供することにある。

## 発明の開示

本発明は、第1の観点からすると、単一波長の光を発生する光源装置であって、単一波長の光を発生する光発生部と；前記光発生部の出力段に並列に配置された複数の光ファイバから成るファイバ群と；前記各光ファイバからの光出力を個別にオン・オフすることにより前記ファイバ群から出力される光の光量を制御する光量制御装置と；を備える第1の光源装置である。

これによれば、光発生部で発生した単一波長の光が、その出力段に並列に配置されたファイバ群を構成する複数の光ファイバのそれぞれに向かって進むが、光量制御装置では各光ファイバからの光出力を個別にオン・オフすることによりファイバ群から出力される光の光量を制御する。このように本発明では、ファイバ群を構成する各光ファイバの光出力を個別にオン・オフするという簡単な手法によりファイバ群から出力される光の光量制御を実現することができる。

とともに、光ファイバの数に比例した複数段階の光量制御が可能となるので、広いダイナミックレンジを容易に実現することができる。この場合、各光ファイバの諸性能（ファイバ径等を含む）は異なっても良いが、各光ファイバの諸性能がほぼ同じである場合には、光ファイバのそれぞれからの同一光量の光を出力させることができる結果、光ファイバの数 $N$ に応じた $N$ 段階の光量制御を正確かつ確実に実行することができる。従って、例えば、 $N \geq 100$ とすれば、1%刻み以下の精度で光量を制御することができる。この場合、制御量と光量とのリニアリティの程度も良い。勿論、この場合、NDフィルタ等のエネルギー粗調器は不要となるので、該フィルタの耐久性、透過率の経時変化等起因する光量制御性能の劣化等の諸問題も改善できる。

この場合において、前記ファイバ群を構成する前記複数の光ファイバは、それぞれの少なくとも出力端部が束ねられてバンドルファイバが構成されていても良い。通常、光ファイバの径は細いので、100本以上束ねても直径が数mm程度以内に収めることができ、そのバンドルファイバの出力段に何らかの光学素子、例えば、四分の一波長板や波長変換器を構成する非線形光学結晶等の光学素子を配置する場合に、小型の光学素子を配置できる。

本発明の第1の光源装置では、各光ファイバからの光出力をオン・オフする手法は、例えば、各光ファイバに対する入射光を遮光する機械的又は電氣的なシャッタ、あるいは各光ファイバからの光の出射を阻止する機械的又は電氣的なシャッタを設ける等種々考えられるが、例えば、前記各光ファイバを含んで構成される各光経路の一部に、光増幅を行うことができるファイバ増幅器が少なくとも1段設けられている場合には、前記光量制御装置は、前記各光ファイバからの前記光出力のオン・オフを前記ファイバ増幅器の励起用光源からの励起光の強度の切り換えにより行うこととしても良い。

ここで、「各光ファイバを含んで構成される各光経路の一部に、光増幅を行うことができるファイバ増幅器が少なくとも1段設けられている」とは、各光経

路が光ファイバとは別にその入力段に設けられた光増幅器を有している場合、各光経路を構成する光ファイバの一部がファイバ増幅器となっている場合のいずれをも含む。

かかる場合には、ファイバ増幅器により各光ファイバを含む光経路に入射した光を増幅できるとともに、光出力をオフすることとされた光ファイバを含む光経路に設けられた光増幅器に対する励起光の強度レベルが低く（零を含む）設定されるので、その分省エネが可能である。また、ファイバ増幅器の励起用光源からの励起光の強度の切り換えにより光出力のオン・オフを行うので、シャッタ等を用いる場合に比べて短時間で光出力のオン・オフが可能である。

本発明の第1の光源装置では、各光ファイバからの前記光出力のオン・オフを前記ファイバ増幅器の励起用光源からの励起光の強度の切り換えにより行う場合に、励起光の強度レベルの切り換えは、所定範囲内の固定的でない2つのレベル間で行っても良いが、前記光量制御装置は、前記励起用光源からの励起光の強度を所定レベルと零レベルとのいずれかに択一的に設定することにより前記励起光の強度の切り換えを行うこととしても良い。かかる場合、前記光量制御装置は、前記励起用光源をオン・オフすることにより、前記励起光の強度を所定レベルと零レベルとのいずれかに択一的に設定することとしても良い。

本発明の第1の光源装置では、各光ファイバからの前記光出力のオン・オフを前記ファイバ増幅器の励起用光源からの励起光の強度の切り換えにより行う場合に、前記光量制御装置は、前記励起用光源からの励起光の強度を所定の第1レベルと該第1レベルより小さい第2レベルとのいずれかに択一的に設定することにより前記励起光の強度の切り換えを行うこととしても良い。すなわち、ファイバ増幅器では、励起光の強度を零にしなくても所定量以下にすると、光の吸収が生じて、ファイバ増幅器からの出射光強度は殆ど零となるので、励起用光源からの励起光の強度を所定の第1レベルと該第1レベルより小さい第2レベルとのいずれかに択一的に設定することにより、光ファイバからの光出力

をオン・オフすることができる。この場合も第1レベル、第2レベルは所定範囲内の固定的でない2つのレベルであっても良い。

本発明の第1の光源装置では、前記各光経路に、前記ファイバ増幅器が複数段設けられている場合、前記光量制御装置は、前記各光ファイバからの前記光出力のオン・オフを最終段のファイバ増幅器の励起用光源からの励起光の強度の切り換えにより行うこととしても良い。かかる場合には、最終段以外のファイバ増幅器の励起用光源からの励起光の強度を切り換える場合に問題となるASE (Amplified Spontaneous Emission, 自然放出光) の悪影響を回避することができるとともに、後段のファイバ程大きな励起光の強度を必要とするので光ファイバからの光出力をオフしたときの励起用光源の省エネの効果が一層大きくなる。

この場合において、前記最終段の前記ファイバ増幅器は、他の段のファイバ増幅器に比べてモードフィールド径が大きいことが望ましい。かかる場合には、光ファイバ中での非線形効果による増幅光のスペクトル幅の増加を避けることができる。

本発明の第1の光源装置では、前記各光ファイバからの光出力のオン・オフ状況に対応する出力強度マップが予め記憶された記憶装置を更に備え、前記光量制御装置は、前記出力強度マップと所定の設定光量に基づいて前記各光ファイバからの光出力を個別にオン・オフすることとしても良い。かかる場合には、各光ファイバの出力にばらつきがあってもファイバ群の光出力を設定光量にほぼ一致させることができるとともに、諸性能の異なる光ファイバを用いることも可能となる。

この場合において、前記出力強度マップは、予め測定された各ファイバ出力のばらつきに基づいて作成されていることが望ましい。かかる場合には予め実際に測定された各ファイバ出力のばらつきに基づいて出力強度マップが作成されているので、ファイバ群の光出力を設定光量に確実に一致させることができ

る。

本発明の第1の光源装置では、前記各光ファイバから出力される前記光の波長を変換する波長変換部を更に備える場合には、前記出力強度マップは、予め測定された前記各ファイバ出力に対応する波長変換効率のばらつきに起因する出力のばらつきを更に考慮して作成されていることが望ましい。かかる場合には、各光ファイバからの光出力に対する波長変換効率にばらつきがあっても、出力光の光量を設定光量に制御することができる。

この場合において、前記光発生部は、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生し、前記波長変換部は、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力することとしても良い。例えば、前記光発生部は、波長 $1.5\mu\text{m}$ 付近の単一波長のレーザ光を発生し、前記波長変換部は、前記波長 $1.5\mu\text{m}$ 付近の前記レーザ光の8倍高調波及び10倍高調波のいずれかを発生することとすることができる。

本発明の第1の光源装置では、前記各光ファイバから出力される前記光の波長を変換する波長変換部を更に備えていても良い。かかる場合には、波長変換部出力は、光出力がオンであるファイバ数に比例する。このため、例えば、各光ファイバの諸性能がほぼ同じである場合には、光ファイバのそれぞれから同一光量の光を出力させることができる結果、リニアリティ良く光量を制御することができる。

この場合において、前記光発生部は、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生し、前記波長変換部は、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力することとしても良い。例えば、前記光発生部は、波長 $1.5\mu\text{m}$ 付近の単一波長のレーザ光を発生し、前記波長変換部は、前記波長 $1.5\mu\text{m}$ 付近の前記レーザ光の8倍高調波及び10倍高調波のいずれかを発生することとすることができる。

本発明の第1の光源装置では、前記光発生部が、単一波長の光を発生する光

源と、前記光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有する場合には、前記光量制御装置は、前記光変調器から出力されるパルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方を更に制御することとしても良い。かかる場合には、光ファイバ群を構成する各ファイバの光出力の個別オン・オフによる段階的な光量制御に加えて、各段階間の光量の微調整が光変調器から出力されるパルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方の制御により可能になるので、結果的に光量の連続制御が可能となり、所定範囲内であれば設定露光量が如何なる値に設定されても、出力光の光量をその設定光量に一致させることが可能になる。

本発明の第1の光源装置では、前記複数の光ファイバそれぞれからの光出力を個別に遅延させて、前記光出力を時間的にずらして行わせる遅延部を更に備えていても良い。かかる場合には、各光ファイバから出力される光が時間的に重なることがなくなるので、結果的に空間的コヒーレンシーを低減することが可能になる。

本発明の第1の光源装置では、前記光発生部が、レーザ光を発振するレーザ光源を有する場合には、前記レーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化に関連する前記レーザ光の光学特性をモニタするビームモニタ機構と；前記ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションを行う波長キャリブレーション制御装置と；を更に備えることとすることができる。かかる場合には、波長キャリブレーション制御装置により、ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションが行われるので、ビームモニタ機構の検出基準波長を設定波長に正確に設定することができ、これによりビームモニタ機構の雰囲気温度等が変動しても、それに影響を受けることなく、ビームモニタ機構を用いてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御が可能になる。従って、より高精度な光量制御が可能となる。



この場合において、前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置と；を更に備えることとすることができる。

この場合において、前記各光ファイバを含んで構成される各光経路の一部には、光増幅を行うことができるファイバ増幅器が少なくとも１段設けられている場合には、前記ファイバ増幅器は、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光ファイバを光導波路部材として有することとすることができる。

本発明は、第２の観点からすると、単一波長の光を発生する光源装置であって、単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有する光発生部と；前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも１段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；前記光変調器から出力される前記パルス光の周波数を制御することにより前記ファイバ増幅器からの出力光の光量を制御する光量制御装置と；を備える第２の光源装置である。

これによれば、光発生部内では、光源から単一波長の光が発生され、その光が光変調器によって所定周波数のパルス光に変換され出力される。そして、このパルス光は、光増幅部によって増幅されピークパワーのより大きなパルス光として出力される。しかるに、パルス光の単位時間当たりの光量（積算光量）は、パルス光のピークパワーがほぼ一定であれば、その周波数に応じて増減するので、光量制御装置が光変調器から出力されるパルス光の周波数を制御することにより、ファイバ増幅器からの出力光の光量を設定光量（目標光量）に一致させることができる。本発明によるパルス光の周波数（単位時間当たりのパルス数）制御による光量調整では、前述した請求項１に記載の発明に比べて、より高速にかつより細やかな光量調整を行うことが可能となり、設定光量が所

定範囲内にあれば如何なる値に設定されても光量をほぼ一致させることができる。また、光出力と制御量とのリニアリティも第1の光源装置と同等以上になる。

この場合において、前記光増幅部に入力するパルス光の周波数に応じた前記光増幅部の出力強度マップが記憶された記憶装置を更に備える場合には、前記光量制御装置は、前記出力強度マップと所定の設定光量とに基づいて前記光変調器から出力される前記パルス光の周波数を制御することとしても良い。光変調器からのパルス光の周波数に応じて光増幅器の入力光の強度が変化し、光増幅部を構成するファイバ増幅器の利得は入力光強度依存性を有するが、本発明によれば、前記入力光強度依存性に起因する光増幅部からの出力パルスのピークパワー変化の影響を受けることの無い、高精度な光量制御が可能となる。

本発明の第2の光源装置では、前記光量制御装置は、前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを更に制御することとしても良い。かかる場合には、パルス光のピークパワーに変動があるような場合であっても、精度の良い光量制御が可能となる。

本発明の第2の光源装置では、前記光変調器が、電気光学変調器である場合に、前記光量制御装置は、前記光変調器に印加する電圧パルスの周波数を制御することにより、前記パルス光の周波数を制御することとしても良い。電気光学変調器の出力パルス光の周波数は、その光変調器に印加する電圧パルスの周波数に一致する。

本発明の第2の光源装置では、前記光増幅部は複数並列に設けられ、前記各光増幅部の光出力端部は光ファイバによりそれぞれ構成されていても良い。

この場合において、前記複数の光増幅部をそれぞれ構成する前記複数の光ファイバは、束ねられてバンドルファイバが構成されていても良い。通常、光ファイバの径は細いので、100本以上束ねても直径が数mm程度以内に収めることができ、そのバンドルファイバの出力段に何らかの光学素子を配置す

る場合に、小型の光学素子を配置できる。

本発明の第2の光源装置では、前記光増幅部から出力される光の波長を変換する波長変換部を更に備えていても良い。かかる場合には、波長変換部からの出力光の光量は、光増幅部出力、ひいては光変調器からのパルス光の入力強度（光量）に応じた値となる。但し、確実にパルス光の入力強度（光量）に比例した値となるわけではなく、光増幅部の出力パルスのピーク強度に対し、最高で波長変換部から出力される高調波の次数のべき乗に比例した非線形の依存性を示す。一方、前記光変調器が電気光学変調器である場合には、その出力光のパルスピーク強度の、電気光学変調器に印加される電圧パルスのパルスピーク強度依存性は、 $\cos(V)$ であるため、上記の波長変換部の非線形な依存性は緩和される。従って、波長変換部を備える場合には、前記光変調器は、電気光学変調器であることが望ましい。

この場合において、前記光発生部は、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生し、前記波長変換部は、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力することとしても良い。例えば、前記光発生部は、波長 $1.5\mu\text{m}$ 付近の単一波長のレーザ光を発生し、前記波長変換部は、前記波長 $1.5\mu\text{m}$ 付近の前記レーザ光の8倍高調波及び10倍高調波のいずれかを発生することとすることができる。

本発明は、第3の観点からすると、単一波長の光を発生する光源装置であって、単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有する光発生部と；前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することにより前記光増幅部からの出力光の光量を制御する光量制御装置と；を備える第3の光源装置である。

これによれば、光発生部内では、光源から単一波長の光が発生され、その光

が光変調器によって所定周波数のパルス光に変換され出力される。そして、このパルス光は、光増幅部によって増幅されピークパワーのより大きなパルス光として出力される。光増幅部から出力されるパルス光の単位時間当たりの光量（積算光量）は、当然に光変調器からのパルス光のピークパワーに応じて増減するので、光量制御装置が光変調器から出力されるパルス光のピークパワーを制御することにより、ファイバ増幅器からの出力光の光量を設定光量（目標光量）に一致させることができる。本発明によるパルス光のピークパワー制御による光量調整では、前述した第1の光源装置に比べて、より高速にかつより細やかな光量調整を行うことが可能となり、設定光量が所定範囲内にあれば如何なる値に設定されても光量をほぼ一致させることができる。

この場合において、前記光増幅部に入力するパルス光の強度に応じた前記光増幅部の出力強度マップが記憶された記憶装置を更に備える場合には、前記光量制御装置は、前記出力強度マップと所定の設定光量とに基づいて前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することとしても良い。かかる場合には、光増幅部を構成するファイバ増幅器の利得の入力光強度依存性に起因する光増幅部からの出力パルスのピークパワー変化の影響を受けることのない、高精度な光量制御が可能となる。

本発明の第3の光源装置では、前記光変調器は、電気光学変調器であり、前記光量制御装置は、前記光変調器に印加する電圧パルスのピークレベルを制御することにより、前記パルス光のピークパワーを制御することとしても良い。電気光学変調器からの出力光のパルスピーク強度は電気光学変調器に印加される電圧パルスのパルスピーク強度に依存する。

本発明の第3の光源装置では、前記光増幅部は複数並列に設けられ、前記各光増幅部の光出力端部は光ファイバによりそれぞれ構成されていても良い。この場合において、前記複数の光増幅部をそれぞれ構成する前記複数の光ファイバは、束ねられてバンドルファイバが構成されていても良い。通常、光ファ

イバの径は細いので、100本以上束ねても直径が数mm程度以内に収めることができ、そのバンドルファイバの出力段に何らかの光学素子を配置する場合に、小型の光学素子を配置できる。

本発明の第3の光源装置では、前記光増幅部は複数並列に設けられ、前記各光増幅部の光出力端部は光ファイバによりそれぞれ構成されている場合に、前記複数の光増幅部のそれぞれからの光出力を個別に遅延させて、前記光出力を時間的にずらして行わせる遅延部を更に備えていても良い。かかる場合には、各光ファイバから出力される光が時間的に重なることがなくなるので、結果的に空間的コヒーレンシーを低減することが可能になる。

本発明の第3の光源装置では、前記光増幅部から出力される光の波長を変換する波長変換部を更に備えていても良い。かかる場合には、波長変換部からの出力光の光量は、光増幅部出力、ひいては光変調器からのパルス光の入力強度（光量）に応じた値となる。但し、確実にパルス光の入力強度（光量）に比例した値となるわけではなく、光増幅部の出力パルスのピーク強度に対し、最高で波長変換部から出力される高調波の次数のべき乗に比例した非線形の依存性を示す。一方、前記光変調器が電気光学変調器である場合には、その出力光のパルスピーク強度の、電気光学変調器に印加される電圧パルスのパルスピーク強度依存性は、 $\cos(V)$ であるため、上記の波長変換部の非線形な依存性は緩和される。従って、波長変換部を備える場合には、前記光変調器は、電気光学変調器であることが望ましい。

この場合において、前記光発生部は、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生し、前記波長変換部は、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力することとしても良い。例えば、前記光発生部は、波長 $1.5\mu\text{m}$ 付近の単一波長のレーザ光を発生し、前記波長変換部は、前記波長 $1.5\mu\text{m}$ 付近の前記レーザ光の8倍高調波及び10倍高調波のいずれかを発生することとすることができる。

本発明の第2、第3の光源装置では、前記光発生部が、前記光源としてレーザ光を発振するレーザ光源を有する場合に、前記レーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化に関連する前記レーザ光の光学特性をモニタするビームモニタ機構と；前記ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションを行う波長キャリブレーション制御装置と；を更に備えることとすることができる。かかる場合には、波長キャリブレーション制御装置により、ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションが行われるので、ビームモニタ機構の検出基準波長を設定波長に正確に設定することができ、これによりビームモニタ機構の雰囲気温度等が変動しても、それに影響を受けることなく、ビームモニタ機構を用いてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御が可能になる。

この場合において、前記光増幅部が、複数並列に設けられている場合には、前記複数の光増幅部を構成する前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置と；を更に備えることとすることができる。

この場合において、前記ファイバ増幅器は、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光ファイバを光導波路部材として有することとすることができる。

本発明は、第4の観点からすると、レーザ光を発振するレーザ光源と；前記レーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化に関連する前記レーザ光の光学特性をモニタするビームモニタ機構と；前記ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションを行う第1の制御装置と；を備える第4の光源装置である。

これによれば、第1の制御装置により、ビームモニタ機構の検出基準波長の

温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションが行われる。このため、ビームモニタ機構の検出基準波長を設定波長に正確に設定することができ、これによりビームモニタ機構の雰囲気温度等が変動しても、それに影響を受けることなく、ビームモニタ機構を用いてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御が可能になる。

この場合において、前記設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源を更に備えている場合には、前記第1の制御装置は、前記絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して前記ビームモニタ機構の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行うとともに、前記温度依存性のデータに基づいて前記検出基準波長を前記設定波長に一致させる設定波長キャリブレーションを行うこととすることができる。かかる場合には、第1の制御装置により、絶対波長提供源から提供される絶対波長に対してビームモニタ機構の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションが行なわれるとともに、前記温度依存性データに基づいて前記検出基準波長を前記設定波長に一致させる設定波長キャリブレーションが行なわれる。すなわち、既知のビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータを用いて、絶対波長キャリブレーション後のビームモニタ機構の検出基準波長を設定波長に一致させる設定波長キャリブレーションが行われる。このため、常に確実にビームモニタ機構の検出基準波長を設定波長に正確に設定することができ、これにより、ビームモニタ機構の雰囲気温度等が変動しても、それに影響を受けることなく、ビームモニタ機構を用いてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御が可能になる。

なお、本明細書において、「設定波長に近い絶対波長」は、設定波長と同一の波長をも含む概念である。

この場合において、前記ビームモニタ機構は、ファブリペロー・エタロンを含み、前記温度依存性のデータは、前記ファブリペロー・エタロンの共鳴波長

の温度依存性の測定結果に基づくデータを含む場合には、前記第 1 の制御装置は、前記ビームモニタ機構を構成する前記ファブリペロー・エタロンの温度を制御することにより、前記検出基準波長の前記絶対波長キャリブレーション及び前記設定波長キャリブレーションを行うこととしても良い。かかる場合には、ファブリペロー・エタロンの波長検出の基準となる共鳴波長の温度依存性を利用して、その検出基準波長を設定波長に設定することが可能となる。

本発明の第 4 の露光装置では、前記温度依存性のデータは、前記レーザ光源から発振される前記レーザ光の中心波長の温度依存性のデータを更に含み、

前記第 1 の制御装置は、前記絶対波長キャリブレーションを行う際に、前記レーザ光源の波長制御をも併せて行うこととしても良い。かかる場合には、前述した絶対波長キャリブレーションを、レーザ光の波長制御を行わない場合に比べて短時間で完了することができる。但し、絶対波長キャリブレーションを行う際に、レーザ光の波長制御を必ずしも行う必要はない。

本発明の第 4 の光源装置では、前記レーザ光源からのレーザ光を増幅するファイバ増幅器を更に備えていても良い。かかる場合には、ファイバ増幅器によりレーザ光源からのレーザ光を増幅することができるので、要求される光量が大きい場合であっても、小型のレーザ光源、例えば、DFB 半導体レーザ、ファイバーレーザ等の固体レーザを用いることが可能となり、装置の小型・軽量化が可能となる。

本発明の第 4 の光源装置では、レーザ光源からのレーザ光を増幅するファイバ増幅器を備えている場合に、前記増幅されたレーザ光の波長を変換する非線形光学結晶を含む波長変換器を更に備えていても良い。かかる場合には、波長変換器により増幅されたレーザ光の波長変換が可能となるので、例えば、波長変換器によりレーザ光の波長変換を行って高調波を発生させることにより、短波長の高いエネルギービームを出力する小型の光源装置を得ることが可能になる。

本発明の第 4 の光源装置では、前記絶対波長提供源は、前記レーザ光が入射



する吸収セルであり、前記第 1 の制御装置は、前記絶対波長キャリブレーションを行う際に、前記吸収セルの前記設定波長に最も近い吸収線の吸収が最大となり、かつ前記ファブリペロー・エタロンの透過率が最大となるようにすることとしても良い。

ここで、「設定波長に最も近い吸収線」には、「設定波長と同一波長の吸収線」も含まれる。

本発明の第 4 の光源装置では、前記設定波長キャリブレーションの終了後に、前記設定波長キャリブレーションが終了した前記ビームモニタ機構のモニタ結果に基づいて、前記レーザ光源からの前記レーザ光の波長をフィードバック制御する第 2 の制御装置を更に備えることとすることができる。かかる場合には、第 2 の制御装置により、その検出基準波長が設定波長に正確に設定されたビームモニタ機構のモニタ結果に基づいて、レーザ光源からのレーザ光の波長が制御されるので、そのレーザ光の波長を設定波長に安定的に維持することができる。

本発明の第 4 の光源装置では、前記レーザ光源の出力段に並列に配置され、ファイバ増幅器をそれぞれ含む複数の光増幅部と；前記複数の光増幅部をそれぞれ構成する前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置と；を更に備えることとすることができる。

この場合において、前記ファイバ増幅器は、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光ファイバを光導波路部材として有することとすることができる。

本発明は、第 5 の観点からすると、複数の光ファイバと；前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏

光光束に変換する偏光方向変換装置とを備える第5の光源装置である。

これによれば、偏光調整装置が複数の光ファイバから射出される複数の光束の偏光状態を揃えた後、偏光方向変換装置が、複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換するので、簡易な構成で、同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束を得ることができる。

本発明の第5の光源装置では、前記偏光調整装置が、前記各光ファイバを介した複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ円偏光とする場合には、前記偏光方向変換装置が四分の一波長板を有する構成とすることができる。かかる場合には、偏光調整装置によって各光ファイバを介した複数の光束それぞれがほぼ円偏光となっているので、複数の光束の全てを、偏光方向変換装置が有する四分の一波長板を介させることにより、同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換することができる。従って、偏光方向変換装置を、1枚の四分の一波長板という非常に簡単な構成としつつ、複数の光束を、同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換することができる。なお、直線偏光の偏光方向は、四分の一波長板を形成する結晶材料等の光学軸の方向によって決定される。このため、四分の一波長板を形成する結晶材料等の光学軸の方向を調整することにより、任意の同一直線偏光方向を有する複数の光束を得ることができる。

ここで、前記光ファイバがほぼ円筒対称の構造を有する場合には、前記偏光調整装置が、前記各光ファイバに入射する複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ円偏光とする構成とすることができる。これは、円筒対称の構造を有する光ファイバに円偏光を入射した場合には、その光ファイバからは円偏光が射出されるからである。なお、光ファイバを完全に円筒対称の構造とすることは不可能なので、光ファイバの長さは短い方が好ましい。

本発明の第5の光源装置では、前記偏光調整装置が前記各光ファイバを介した複数の光束それぞれが全てほぼ同一の偏光状態で、任意の楕円偏光とする場合には、前記偏光方向変換装置が、偏波面を回転する二分の一波長板と、前記

二分の一波長板と光学的に直列接続された四分の一波長板とを有する構成とすることができる。ここで、二分の一波長板と四分の一波長板との直列接続にあたっては、どちらを光路における上流側に配置してもよい。例えば、二分の一波長板を上流側に配置した場合には、共通の二分の一波長板を介することにより、各光ファイバを介した複数の光束の偏波面が同様に回転された後、更に共通の四分の一波長板を介することにより、全ての光束が同一偏光方向を有する直線偏光となる。また、四分の一波長板を上流側に配置した場合にも、二分の一波長板を上流側に配置した場合と同様に、全ての光束を、同一偏光方向を有する直線偏光とすることができる。したがって、偏光方向変換装置を、1枚の二分の一波長板と1枚の四分の一波長板という簡易な構成とすることができる。この場合には、二分の一波長板及び四分の一波長板を形成する結晶材料等の光学軸の方向を調整することにより、任意の同一直線偏光方向を有する複数の光束を得ることができる。

また、本発明の第5の光源装置では、前記複数の光ファイバそれぞれが、前記複数の光ファイバに入射する複数の光束それぞれを増幅対象光とする光ファイバ増幅器を構成する、前記増幅対象光が導波される光ファイバである構成とすることができる。かかる場合には、各光ファイバが入射した光がそれぞれ増幅されて各光ファイバから射出されるので、偏光方向変換装置からの射出光として、それぞれが高強度であり、かつ同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束を得ることができる。この結果、光源装置としての射出光光量の増大を図ることができる。

この場合において、前記光ファイバは、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材として形成されていることとすることができる。

本発明の第5の光源装置では、前記複数の光ファイバに入射する前記複数の光束それぞれは、パルス光列であることとすることができる。かかる場合には、

各パルス光列における光パルスの繰り返し周期やパルス高を調整することにより、光源装置としての射出光の光量を精度良く制御することができる。

本発明の第5の光源装置では、前記複数の光ファイバに入射する前記複数の光束それぞれは、前記複数の光ファイバへ入射する前に1段以上の光ファイバ増幅器によって増幅された光束であることとすることができる。かかる場合には、1段以上の光ファイバ増幅器による1段又は多段の光増幅作用により、光源装置としての射出光光量の増大を図ることができる。

本発明の第5の光源装置では、偏光調整装置が、偏光方向変換装置の直前に配置された前記複数の光ファイバそれぞれに印加する機械的なストレス等を調整して、偏光方向変換装置に入射する複数の光束の偏光状態を調整することも可能であるが、前記偏光調整装置が、前記複数の光ファイバよりも上流側に配置された光学部品の光特性を制御して偏光調整を行う構成とすることができる。かかる場合には、偏光方向変換装置の直前に配置された複数の光ファイバが、光増幅部を有する、増幅対象光が導波される光ファイバであり、ストレスの印加等による偏光調整になじまない場合であっても、より上流側に配置された偏光調整がよりしやすい光学部品の光特性を制御することにより、偏光方向変換装置に入射する複数の光束の偏光状態を揃えることができる。

本発明の第5の光源装置では、前記複数の光ファイバが、互いにほぼ並行して束ねられている構成とすることができる。かかる場合には、複数の光ファイバが占有する区間を小さくするとともに、偏光方向変換装置の受光面積を小さくできるので、光源装置の小型化を図ることができる。

本発明の第5の光源装置では、前記偏光方向変換装置から射出された光束を、少なくとも1つの非線形光学結晶を介させることにより、波長変換を行う波長変換器を更に備える構成とすることができる。かかる場合には、偏光方向変換装置から射出される光束の偏光方向を非線形光学結晶による波長変換（倍高調波発生、和周波発生）が効率的に行われる入射光の偏光方向に設定することに

より、効率的に波長変換された光を発生して射出することができる。

ここで、前記複数の光ファイバから射出される光は赤外域及び可視域のいずれかの波長を有し、前記波長変換器から射出される光は紫外域の波長を有することとすることができる。かかる場合には、微細パターンの転写に適した紫外光を効率的に発生することができる。

この場合には、前記複数の光ファイバから射出される光は1547nm付近の波長を有し、前記波長変換器から射出される光は193.4nm付近の波長を有することとすることができる。かかる場合には、ArFエキシマレーザ光源を使用した場合に得られる波長の光を効率的に得ることができる。

本発明は、第6の観点からすると、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光導波路部材を含み、入射光を増幅する光増幅器と；前記光増幅器から射出された光の波長を変換する波長変換器と；を備える第6の光源装置である。

これによれば、シリカガラスを主材とし、希土類元素が添加された、従来の増幅用ファイバ等のような光導波路部材に代えて、フォスフェイトガラス又は酸化ビスマス系ガラスを主材とし、高密度に希土類元素が添加された光導波路部材を使用するので、短い長さの光導波路部材によって高い増幅率で入射光を増幅することができる。このため、光導波路部材を経由することによって発生する偏光状態の変化を低減しつつ、高輝度の光を波長変換器に供給することができる。また、増幅にあたって光が経路する経路の長さが短くなるので、誘導ラマン散乱や自己位相変調によるスペクトルの広がりも抑制することができる。したがって、簡易な構成で狭帯域の波長変換光を効率良く発生することができる。

本発明の第6の光源装置では、前記光導波路部材を、光を導波するコアと、前記コアの周囲に設けられたクラッドとを有する光ファイバとする構成とすることができる。また、このファイバは、2重クラッド構造を持つダブル・クラ

ッド・ファイバの構造でもよい。かかる場合には、光の引き回しに使用される伝搬用ファイバとの接続等が容易となり、より簡易に光源装置を実現できる。

ここで、前記光ファイバを直線状に敷設することができる。かかる場合には、偏光状態の変化の原因となる径方向の応力の非対称性の発生を防止することができるので、入射時の偏光状態を維持した出力光を得ることができる。

また、前記光増幅器が、少なくとも前記光ファイバを収容する容器を更に含む構成とすることができる。かかる場合には、偏光状態の変化の原因となる増幅用ファイバの周囲環境の変化を防止することができるので、安定した波長変換を行うことができる。

本発明の光源装置では、前記波長変換器が、入射光の波長変換を行う少なくとも1つの非線形光学結晶を含む構成とすることができる。かかる場合には、非線形光学結晶に、光増幅器から射出された高輝度の光を照射することにより、高出力の波長変換光を得ることができる。

本発明は、第7の観点からすると、レーザ光源から発振されるレーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化制御方法であって、前記レーザ光の波長を検出する波長検出装置の検出基準波長の温度依存性を予め測定する第1工程と；前記設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して前記波長検出装置の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行う第2工程と；前記第1工程で求めた前記温度依存性に基づいて、前記波長検出装置の前記検出基準波長を前記設定波長に設定する第3工程とを含む波長安定化制御方法である。

ここで、「設定波長に近い絶対波長」は、設定波長と同一の波長も含む概念である。

これによれば、第1工程でレーザ光の波長を検出する波長検出装置の検出基準波長の温度依存性を予め測定しておく。次いで、第2工程で設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して波長検出

装置の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行う。そして、第3工程で第1工程で求めた温度依存性に基づいて、波長検出装置の検出基準波長を設定波長に設定する。このように、本発明によれば、予め測定した波長検出装置の検出基準波長の温度依存性を用いて、絶対波長キャリブレーション後の波長検出装置の検出基準波長を設定波長に設定するので、常に確実に波長検出装置の検出基準波長を設定波長に正確に設定することができ、これにより波長検出装置の雰囲気温度等が変動しても、それに影響を受けることなく、波長検出装置を用いてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御が可能になる。

この場合において、前記波長検出装置が、ファブリペロー・エタロンである場合には、前記第1工程で前記波長検出装置の共鳴波長の温度依存性を測定し、前記第2工程で前記波長検出装置の温度を制御することにより前記共鳴波長を前記絶対波長にほぼ一致させ、前記第3工程で前記波長検出装置の温度を制御することにより前記共鳴波長を前記設定波長に設定することとしても良い。かかる場合には、ファブリペロー・エタロンの波長検出の基準となる共鳴波長の温度依存性を利用して、その共鳴波長（検出基準波長）を設定波長に設定することが可能となる。

この場合において、前記絶対波長提供源が、前記レーザ光が入射する吸収セルである場合には、前記第2工程では、前記吸収セルの前記設定波長に最も近い吸収線の吸収が最大となり、かつ前記波長検出装置の透過率が最大となるようにすることとしても良い。

ここで、「設定波長に最も近い吸収線」には、「設定波長と同一波長の吸収線」も含まれる。

本発明の波長安定化制御方法では、前記第1工程では、前記レーザ光の中心波長の温度依存性をも予め計測し、前記第2工程では、前記レーザ光の波長制御をも併せて行うこととしても良い。かかる場合には、前述した絶対波長キャ

リブレーションを、レーザ光の波長制御を行わない場合に比べて短時間で完了することができる。

本発明の波長安定化制御方法では、前記第 3 工程で前記検出基準波長が前記設定波長に設定された前記波長検出装置の検出結果に基づいて前記レーザ光源からの前記レーザ光の波長を制御する第 4 工程を更に含んでいても良い。かかる場合には、その検出基準波長が設定波長に正確に設定された波長検出装置の検出結果に基づいてレーザ光源からのレーザ光の波長を制御するので、そのレーザ光の波長を設定波長に安定的に維持することができる。

本発明の波長安定化制御方法では、前記レーザ光の波長制御は、前記レーザ光源の温度、供給電流の少なくとも一方を制御することにより行うこととしても良い。例えば、DFB 半導体レーザやファイバーレーザのような単一波長発振レーザの場合、温度制御によってレーザの発振波長を制御することもできるし、DFB 半導体レーザの場合、供給電流（ドライブ電流）の制御によってもレーザの発振波長を制御することもできる。

本発明は、第 8 の観点からすると、マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生する光発生部と；前記光発生部の出力段に並列に配置された複数の光ファイバから成るファイバ群と；前記各光ファイバからの光出力を個別にオン・オフすることにより前記ファイバ群から出力されるレーザ光の光量を制御する光量制御装置と；前記各光ファイバから出力される前記レーザ光の波長を変換し、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力する波長変換部と；前記波長変換部から出力される前記紫外光を露光用照明光として前記マスクを照明する照明光学系と；備える第 1 の露光装置である。

これによれば、照明光学系により波長変換部から出力される紫外光を露光用照明光としてマスクが照明され、該マスクに形成されたパターンが基板上に転写される。この場合、光量制御装置により、マスクに照射される紫外光の光量



制御を必要な要請に応じて行うことができるので、結果的に要求される露光量制御を実現することができる。

この場合において、前記各光ファイバからの光出力のオン・オフ状況に対応する出力強度マップが予め記憶された記憶装置を更に備え、前記光量制御装置は、前記出力強度マップと所定の設定光量とに基づいて前記各光ファイバからの光出力を個別にオン・オフすることにより前記ファイバ群から出力されるレーザ光の光量を制御することとしても良い。かかる場合には、各光ファイバの出力にばらつきがあってもファイバ群の光出力を設定光量にほぼ一致させることができるとともに、諸性能の異なる光ファイバを用いることも可能となる。

本発明の第1の露光装置では、前記光発生部は、単一波長のレーザ光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有する場合に、前記光量制御装置は、前記光変調器から出力される前記パルス光の周波数を制御することにより、前記ファイバ群から出力されるレーザ光の光量を更に制御することとすることができる。かかる場合には、光量制御装置により、光ファイバ群を構成する各ファイバの光出力の個別オン・オフによる段階的な光量制御に加えて、各段階間の光量の微調整が光変調器から出力されるパルス光の周波数の制御により可能になる。結果的に光量の連続制御が可能となり、所定範囲内であれば設定光量が如何なる値に設定されても、出力光の光量をその設定光量に一致させることが可能になる。従って、より高精度な露光量制御が可能になる。

本発明の第1の露光装置では、前記光量制御装置は、前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することにより、前記ファイバ群から出力されるレーザ光の光量を更に制御することとしても良い。かかる場合には、光量制御装置により、光ファイバ群を構成する各ファイバの光出力の個別オン・オフによる段階的な光量制御に加えて、各段階間の光量の微調整が光変調器から出力されるパルス光のピークパワーの制御により可能になる。結果的に

に光量の連続制御が可能となり、所定範囲内であれば設定光量が如何なる値に設定されても、出力光の光量をその設定光量に一致させることが可能になる。従って、より高精度な露光量制御が可能になる。

本発明は、第 9 の観点からすると、マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有し、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生する光発生部と；前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも 1 段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；前記光変調器から出力される前記パルス光の周波数を制御することにより前記ファイバ増幅器からの出力光の光量を制御する光量制御装置と；前記光増幅部から出力されるレーザ光の波長を変換し、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力する波長変換部と；前記波長変換部から出力される前記紫外光を露光用照明光として前記マスクを照明する照明光学系と；を備える第 2 の露光装置である。

これによれば、照明光学系により波長変換部から出力される紫外光を露光用照明光としてマスクが照明され、該マスクに形成されたパターンが基板上に転写される。この場合、光量制御装置により、マスクに照射される紫外光の光量制御を必要な要請に応じて行うことができるので、結果的に要求される露光量制御を実現することができる。

本発明の第 2 の露光装置では、前記光量制御装置は、前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することにより前記光増幅部からの出力光の光量を更に制御することとしても良い。

本発明は、第 10 の観点からすると、マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有し、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生する光発生部と；前記光発生

部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することにより前記光増幅部からの出力光の光量を制御する光量制御装置と；前記光増幅部から出力されるレーザ光の波長を変換し、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力する波長変換部と；前記波長変換部から出力される前記紫外光を露光用照明光として前記マスクを照明する照明光学系と；を備える第3の露光装置である。

これによれば、照明光学系により波長変換部から出力される紫外光を露光用照明光としてマスクが照明され、該マスクに形成されたパターンが基板上に転写される。この場合、光量制御装置により、マスクに照射される紫外光の光量制御を必要な要請に応じて行うことができるので、結果的に要求される露光量制御を実現することができる。

本発明は、第11の観点からすると、マスクに形成されたパターンを基板上に繰り返し転写する露光装置であって、単一波長の光を発生する光源と、前記光源からの光をパルス光に変換する光変調器とを有する光発生部と；前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；前記増幅されたパルス光を前記マスクに照射して、該マスクを介して前記基板を露光する際に、その露光対象領域の基板上の位置に応じて前記光変調器を介して前記パルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方を制御する制御装置と；を備える第4の露光装置である。

これによれば、光発生部では、光源で発生した単一波長の光を光変調器によりパルス光に変換することによりパルス光を発生し、そのパルス光がファイバ増幅器を含む光増幅部によって増幅される。そして、制御装置により、その増幅されたパルス光をマスクに照射して、該マスクを介して基板を露光する際に、その露光対象領域の基板上の位置に応じて光変調器を介してパルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方が制御され、これによりマスクに照射され

る光量、ひいては基板の露光量が高精度に制御される。従って、本発明によれば、基板上の露光対象領域の位置によらず、常に適切な露光量制御が可能となり、精度良くマスクのパターンを基板上に転写することが可能になる。

ここで「露光対象領域」とは、基板上に露光すべきショット領域が複数ある場合のそれぞれのショット領域、及び各ショット領域内の異なる領域の双方を含む概念である。従って、本発明によれば、いわゆるステッパ（スキャニング・ステッパを含む）における基板上の各ショット領域毎のプロセスばらつきの補正や走査型露光装置における１ショット領域内の線幅均一性の向上が可能になる。

本発明は、第１２の観点からすると、マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、単一波長の光を発生する光源と、前記光源からの光をパルス光に変換する光変調器とを有する光発生部と；前記パルス光を増幅する光ファイバ増幅器を少なくとも各１段含み、前記光発生部の出力段に並列に配置された複数の光経路から成る光増幅部と；前記光増幅部からの前記パルス光を前記マスクに照射して、該マスクを介して前記基板を露光する際に、前記各光経路からの光出力を個別にオン・オフすることにより前記光増幅部から出力されるパルス光の光量を制御する制御装置と；を備える第５の露光装置である。

これによれば、光発生部では、光源で発生した単一波長の光を光変調器によりパルス光に変換することによりパルス光を発生し、そのパルス光がファイバ増幅器を含む光増幅部によって増幅される。そして、制御装置により、その増幅されたパルス光をマスクに照射して、該マスクを介して基板を露光する際に、各光経路からの光出力を個別にオン・オフすることにより光増幅部から出力されるパルス光の光量が制御され、これによりマスクに照射される光量、ひいては基板の露光量が広い範囲に渡って段階的に制御される。従って、本発明によれば、複数枚の基板を繰り返し露光する露光装置における基板毎のレジスト感

度等の違いに合わせた露光量制御が可能になる。従って、レジスト感度等に影響を受けることなく、基板上にマスクパターンを要求される精度で転写することが可能になる。

この場合も、制御装置は、上記の如くその露光対象領域の基板上的位置に応じて光変調器を介してパルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方を制御するようにしても良い。

本発明の第4又は第5の露光装置において、前記光源は、赤外域又は可視域のレーザ光を発生し、前記光増幅部で増幅された前記パルス光を紫外光に波長変換する波長変換部を更に備えることとしても良い。

本発明は、第13の観点からすると、レーザ光によりマスクを照明し、該マスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、前記レーザ光を発振するレーザ光源と、前記レーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化に関連する前記レーザ光の光学特性をモニタするビームモニタ機構と、前記設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源とを有する光源装置と；前記レーザ光源から発振される前記レーザ光の中心波長及び前記ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性の測定データから成る温度依存性マップが記憶された記憶装置と；前記絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して前記ビームモニタ機構の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行うとともに、前記温度依存性マップに基づいて前記検出基準波長を前記設定波長に一致させる設定波長キャリブレーションを行う第1の制御装置と；前記光源装置から射出されるレーザ光の波長を前記設定波長キャリブレーションが終了した前記ビームモニタ機構のモニタ結果に基づいてフィードバック制御しつつ、前記レーザ光を前記マスクに照射して該マスクを介して前記基板を露光する第2の制御装置と；を備える第6の露光装置である。

これによれば、第1の制御装置により絶対波長提供源から提供される絶対波長に対してビームモニタ機構の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリ

レーション、及び記憶装置に記憶された温度依存性マップ（レーザ光源から発振されるレーザ光の中心波長及びビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性の測定データから成る）に基づいて検出基準波長を設定波長に一致させる設定波長キャリブレーションが行われる。このようにして、既知のビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性を用いて、絶対波長キャリブレーション後のビームモニタ機構の検出基準波長を設定波長に一致させることができる。そして、第2の制御装置では、光源装置から射出されるレーザ光の波長を設定波長キャリブレーションが終了したビームモニタ機構のモニタ結果に基づいてフィードバック制御しつつ、レーザ光をマスクに照射して該マスクを介して基板を露光する。従って、ビームモニタ機構のモニタ結果に基づいてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御を行いつつ、レーザ光をマスクに照射して該マスクを介して基板を露光することができるので、雰囲気温度変動等の影響の少ない高精度な露光が可能になる。

この場合において、前記マスクから出射された前記レーザ光を前記基板に投射する投影光学系と；前記投影光学系の近傍の環境に関連する物理量を測定する環境センサとを更に備える場合、前記第2の制御装置により前記基板の露光が開始されてから所定のタイミング毎に、前記環境センサの計測値に基づいて標準状態からの前記物理量の変化に起因する前記投影光学系の結像特性の変動分をほぼ相殺するための波長変更量を計算で求め、該波長変更量に応じて前記設定波長を変更する第3の制御装置とを更に備えることとすることができる。投影光学系の設置環境に関連する物理量（周囲気体の圧力、温度、湿度など）が標準状態から変動すると、大気の屈折率が変動し、これにより投影光学系が本来それに合わせて調整されていた露光波長（設定波長）が変動し、露光光であるレーザ光の波長がもとのまま投影光学系に照射されると、投影光学系の結像特性に前記物理量の変動に起因する諸収差（色収差を含む）が発生する。本発明によれば、かかる場合に、第3の制御装置が、基板の露光が開始されてか

ら所定のタイミング毎に、環境センサの計測値に基づいて標準状態からの前記物理量の変化に起因する投影光学系の結像特性の変動分をほぼ相殺するための波長変更量を計算で求め、該波長変更量に応じて設定波長を変更する。この結果、投影光学系の諸収差が同時に補正され、第2の制御装置がその変更後の設定波長を基準としてビームモニタ機構を用いてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御を行いつつ、レーザ光をマスクに照射する。これにより、マスクから出射したレーザ光が投影光学系により基板上に投射され基板が露光される。この場合、結果的に環境条件に関連する物理量の変動が存在しなかったかのような状態（すなわち、結像特性の変動量が相殺された状態）で、精度良く露光が行われることとなる。

例えば、物理量が大気圧を含む場合、標準状態における大気圧（標準大気圧）は任意で良いが、例えば投影光学系などの光学性能（投影光学系の結像特性を含む）が最良となるようにその調整を行うときの基準となる大気圧であることが望ましく、この場合には、標準大気圧では投影光学系などの光学性能の変動量が零となる。通常、標準大気圧は、露光装置が設置される納入先（工場など）の平均大気圧に設定されることが多い。従って、露光装置を製造する組立地と、露光装置が設置される納入先（移設地）とに標高差があるときは、例えば標準大気圧（平均大気圧など）下に投影光学系などが設置されているかのように、組立地ではその標高差に対応する波長だけ露光波長をシフトさせた上で投影光学系などの調整を行い、移設地ではその波長を露光波長に戻す、あるいは組立地では露光波長のもとで投影光学系などの調整を行い、移設地でその標高差を相殺するように露光波長をシフトさせる。

なお、投影光学系が空気以外の気体中に設置される場合、上記の「大気圧」はその投影光学系の周囲の気体の圧力となる。

ここで、本発明では、例えば投影光学系によって照明光の波長を変更することと、その投影光学系の設置環境（周囲の気体の圧力、温度、湿度など）を変

更することは実質的に等価であることを利用している。このとき、投影光学系の屈折素子の硝材の種類が単一であるときには、その等価性が完全に成立し、硝材が複数種類であってもその等価性はほぼ成立する。従って、設置環境に対する投影光学系（特に屈折素子）の屈折率の変化特性を用いて、照明光の波長のみを変化させることによって、実質的に投影光学系の設置環境が変化した場合と等価な状態を実現することができる。

ここで、前記所定のタイミングは、所定枚数の基板の露光終了毎のタイミングであっても良く、基板上の１ショットの露光終了の度毎のタイミングであっても良くあるいは露光条件の変更の度毎のタイミングであっても良い。ここで、所定枚数は１枚であっても良く、１ロットに相当する枚数であっても良い。また、露光条件の変更とは、照明条件の変更の他、マスクの交換等の広い意味での露光に関する条件が変更された場合の全てを含む。

あるいは、所定のタイミングは、前記環境センサの計測値に基づいて得られる環境に関連する物理量（又はその変化量）が所定量以上変化したタイミングであっても良く、あるいは投影光学系などの光学性能（又はその変動量）を演算する間隔（例えば数 $\mu$ s）に合わせて、ほぼリアルタイムで行っても良い。あるいは所定のタイミングは、予め定めた所定の時間毎のタイミングであっても良い。

この場合において、前記投影光学系の結像特性を補正する結像特性補正装置を更に備え、前記結像特性補正装置は、前記第３の制御装置による前記設定波長の変更の度毎に、前記設定波長の変更により補正される前記投影光学系の結像特性の変動分を除く、結像特性変動を補正することとしても良い。

ここで、「設定波長の変更により補正される前記投影光学系の結像特性の変動分を除く、結像特性変動」には、設定波長の変更により前記物理量の変動に起因する投影光学系の結像特性の変動が完全に補正されなかった場合には、その補正されなかった、前記物理量の変動に起因する投影光学系の結像特性の変



動分も含まれる。

かかる場合には、前記物理量の変動に起因する投影光学系の結像特性の変動分（以下、適宜「環境変動分」と呼ぶ）の大部分が上記の設定波長の変更により補正され、その残りの環境変動分が他の照射変動分等とともに、結像特性補正装置により補正される。この結果、投影光学系の結像特性をほぼ完全に補正した状態で高精度な露光が行われる。

この場合において、前記結像特性補正装置は、前記第 3 の制御装置による前記設定波長の変更間では、前記レーザ光の波長変動を考慮して前記結像特性変動を補正することとしても良い。設定波長の変更は上述した所定のタイミングで行われるが、この設定波長の変更間隔が長いと、その間で前記物理量の変動が生じるので、これに起因する環境変動分を結像特性補正装置が補正することとしたものである。

本発明の第 6 の露光装置では、投影光学系の近傍の環境に関連する物理量を測定する環境センサとを更に備える場合、前記環境センサは、少なくとも大気圧を検出することとしても良い。

本発明の第 6 の露光装置では、前記光源装置は、前記レーザ光源からのレーザ光を増幅するファイバ増幅器と；前記増幅されたレーザ光の波長を紫外域の波長に変換する非線形光学結晶を含む波長変換器を更に備えていても良い。かかる場合には、ファイバ増幅器によりレーザ光源からのレーザ光を増幅し、この増幅されたレーザ光を波長変換器により紫外域の波長の光に波長変換することが可能となる。従って、例えば、要求される光量が大きい場合であっても、小型のレーザ光源、例えば、DFB 半導体レーザ、ファイバーレーザ等の固体レーザを用いても、短波長の高エネルギーのエネルギービームを出力することが可能となる。光源装置の小型・軽量化、ひいては露光装置のフットプリントの狭小化と、露光の解像力の向上による微細パターンの基板上への高精度な転写が可能になる。

本発明は、第14の観点からすると、エネルギービームにより感光剤が塗布された基板を露光する露光装置であって、前記エネルギービームを発生するビーム源と；前記ビーム源から出力される前記エネルギービームの波長を変更する波長変更装置と；前記波長変更装置により前記波長が変更されたとき、その波長変更に伴って生じる前記感光剤の感度特性の変化量に応じて前記基板に与えられる積算露光量を制御する露光量制御装置と；を備える第7の露光装置である。

これによれば、波長変更装置により、ビーム源から出力されるエネルギービームの波長が変更されると、露光量制御装置によりその波長変更に伴って生じる基板上的感光剤の感度特性の変化量に応じて基板に与えられる積算露光量が制御される。

すなわち、エネルギービームの波長を変更すると、その波長の変更（波長シフト）によって基板上的感光剤（レジスト）の感度特性が変化することがあるが、そのような場合に、本発明では、露光量制御装置により、その波長変更に伴って生じる感光剤の感度特性の変化量に応じて基板に与えられる積算露光量を制御することができる。従って、感光剤の感度特性の変化に影響されることのない精度の良い露光が可能になる。

本発明は、第15の観点からすると、露光用ビームを基板に照射することにより、所定のパターンを基板に転写する露光装置であって、赤外域及び可視域のいずれかの波長の光を射出する複数の光ファイバと；前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置と；前記偏光方向変換装置から射出された光束を、少なくとも1つの非線形光学結晶を介させることにより、波長変換を行い、紫外域の波長の光を射出する波長変換器と；前記波長変換器から射出される光を前記露光用ビームとして前記基板に照射する光学系と；を備える第8の露光装置である。

これによれば、複数の光ファイバ、偏光調整装置及び波長変換器によって微細パターンの転写に適した紫外光を効率的に発生することができ、該紫外光が光学系により露光用ビームとして基板に照射されるので、効率的に所定のパターンを基板に転写することができる。

本発明は、第16の観点からすると、露光光を基板に照射して所定のパターンを形成する露光装置であって、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光導波路部材を含み、入射光を増幅する光増幅器と；前記光増幅器から射出された光の波長を変換する波長変換器と；前記波長変換器から射出される光を前記露光光として前記基板に照射する光学系と；を備える第9の露光装置である。

この場合において、前記光導波路部材は、光を導波するコアと、前記コアの周囲に設けられたクラッドとを有する光ファイバであることとすることができる。

本発明の第9の露光装置では、前記波長変換器は、200nm以下の波長の前記露光光を発生することとすることができる。かかる場合には、波長スペクトルの広がり小さな200nm以下の波長の露光光を波長変換器から発生することにより、精度の良い基板の露光を効率良く行うことができ、200nm以下という短い波長に応じた微細なパターンを精度良く基板に形成することができる。

なお、本発明の第9の露光装置が所定のパターンが形成されたマスクを有し、光学系を介して基板を露光するときには、露光光とほぼ同一の波長の光が使用されるマスクの位置検出にあたって、上記波長変換器が発生する光を使用することにより、当該位置検出用の光を効率良く供給することが可能となる。

本発明は第17の観点からすると、マスクに形成されたパターンを基板上に繰り返し転写する露光方法であって、パルス光をファイバ増幅器を用いて少なくとも1回増幅する第1工程と；前記増幅されたパルス光を前記マスクに照射

し、該マスクを介して前記基板上の露光対象領域を露光する第2工程と；前記第1工程の処理に先立って、光源からのレーザ光を前記パルス光に変換するとともに、前記露光対象領域の基板上の位置に応じて前記パルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方を制御する第3工程と；を含む第1の露光方法である。

これによれば、パルス光をファイバ増幅器を用いて少なくとも1回増幅し、その増幅されたパルス光をマスクに照射し、該マスクを介して基板上の露光対象領域を露光する。この場合、パルス光をファイバ増幅器を用いて増幅するのに先立って、光源からのレーザ光をパルス光に変換するとともに、露光対象領域の基板上の位置に応じてパルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方を制御する。従って、パルス光をマスクに照射し、該マスクを介して基板上の露光対象領域を露光する際には、露光対象領域の基板上の位置に応じて露光量が調整された状態で露光が行われることになる。従って、本発明によれば、基板上の露光対象領域の位置によらず、常に適切な露光量制御が可能となり、精度良くマスクのパターンを基板上に転写することが可能になる。

ここで「露光対象領域」とは、基板上に露光すべきショット領域が複数ある場合のそれぞれのショット領域、及び各ショット領域内の異なる領域の双方を含む概念である。従って、本発明によれば、いわゆるステッパ（スキャニング・ステッパを含む）における基板上の各ショット領域毎のプロセスばらつきの補正や走査型露光装置における1ショット領域内の線幅均一性の向上が可能になる。

この場合において、前記ファイバ増幅器が、複数並列に設けられている場合には、前記第1工程では、選択されたファイバ増幅器のみを用いて前記パルス光の増幅を行うこととしても良い。かかる場合には、露光量の制御を広いダイナミックレンジで段階的に行うことができるので、上記の露光対象領域の基板上の位置に応じてパルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方を制御

する露光量制御との併用により、より広い範囲に渡って露光量制御を高精度に行なうことが可能になる。上記のファイバ増幅器の選択を、基板上のレジスト感度等に応じて行うことにより、基板毎のレジスト感度の違いに合わせた露光量の制御が可能になる。

本発明の第1の露光方法では、前記光源は、赤外域又は可視域のレーザ光を発生し、前記パルス光が前記マスクに照射される前に前記増幅されたパルス光を紫外光に波長変換する第4工程を更に含んでも良い。

本発明は、第18の観点からすると、レーザ光により基板を露光して所定のパターンを基板上に形成する露光方法であって、露光開始に先立って、前記レーザ光の波長を検出する波長検出装置の検出基準波長の温度依存性を予め測定する第1副工程と、前記設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して前記波長検出装置の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行う第2副工程と、前記第1副工程で求めた前記温度依存性に基づいて、前記波長検出装置の前記検出基準波長を前記設定波長に設定する第3副工程との処理を順次行う第1工程と；しかる後、前記第3副工程で前記検出基準波長が前記設定波長に設定された前記波長検出装置の検出結果に基づいて前記レーザ光源からの前記レーザ光の波長を制御しつつ、基板を前記レーザ光で繰り返し露光する第2工程と；を含む第2の露光方法である。

これによれば、第1工程の処理により、予め測定した波長検出装置の検出基準波長の温度依存性を用いて、絶対波長キャリブレーション後の波長検出装置の検出基準波長を設定波長に設定するので、常に確実に波長検出装置の検出基準波長が設定波長に正確に設定される。そして、第2工程で、検出基準波長が設定波長に設定された波長検出装置の検出結果に基づいてレーザ光源からのレーザ光の波長を制御しつつ、基板がレーザ光で繰り返し露光される。従って、本発明によれば、波長検出装置の雰囲気温度等が変動しても、それに影響を

受けることなく、波長検出装置の検出基準波長を設定波長に正確に設定し、その波長検出装置を用いてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御を行いつつ、基板がレーザ光で繰り返し露光されるので、雰囲気の温度変動等の影響の少ない高精度な露光が可能になる。

この場合において、前記レーザ光の経路に配置された光学系が更に設けられている場合には、前記光学系の光学性能の変動をキャンセルするために前記設定波長を変更する第3工程を更に含んでいても良い。例えば大気圧の変動等があると光学系の光学性能（諸収差等）が変動することがあるが、このような場合に、第3工程において光学系の光学性能の変動をキャンセルするために設定波長が変更される結果、その変更後の設定波長を基準として波長検出装置を用いてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御を行いつつ、基板をレーザ光で繰り返し露光することができる。このため、結果的に大気圧の変動が存在しなかったかのような状態（すなわち、光学性能の変動量が相殺された状態）で、精度良く露光が行われることとなる。

本発明は、第19の観点からすると、露光光を、光学系を介して基板に照射して所定のパターンを形成する露光装置の製造方法において、前記光学系の特性の調整を、本発明の第6の光源装置が発生した前記露光光の波長を含む所定幅の波長帯に属する波長の光を使用して行うことを特徴とする露光装置の製造方法である。これによれば、露光にあたって露光光が介する光学系の特性の調整を、精度良くかつ簡易に行うことができる。

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光方法を用いて露光を行うことにより、基板上に複数層のパターンを重ね合せ精度良く形成することができ、これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。同様に、リソグラフィ工程において、本発明の露光装置を用いて露光を行うことにより、露光量制御精度の向上により線幅制御精度が向上し、これにより基板上に複数層のパターンを重ね

合せ精度良く形成することができる。従って、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。従って、本発明は別の観点からすると、本発明の露光方法又は本発明の露光装置を用いるデバイス製造方法であり、また、該製造方法によって製造されたデバイスであるとも言える。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

図2は、図1の光源装置の内部構成を主制御装置とともに示すブロック図である。

図3は、図2の光増幅部の構成を概略的に示す図である。

図4は、光増幅部を構成する最終段のファイバ増幅器の出力端部が束ねられて形成されたバンドルファイバの断面を示す図である。

図5は、図2の光増幅部を構成するファイバ増幅器及びその周辺部を、波長変換部の一部とともに概略的に示す図である。

図6Aは、バンドルファイバ173の出力端から射出される波長 $1.544\mu\text{m}$ の基本波を、非線形光学結晶を用いて8倍波（高調波）に波長変換して $193\text{nm}$ の紫外光を発生する波長変換部の構成例を示す図、図6Bは、バンドルファイバ173の出力端から射出される波長 $1.57\mu\text{m}$ の基本波を非線形光学結晶を用いて10倍波に波長変換して $157\text{nm}$ の紫外光を発生する波長変換部の構成例を示す図である。

図7は、変形例を説明するための図であって、光増幅部の他の構成例を示す図である。

図8は、本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

図9は、図8のステップ204における処理のを示すフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の一実施形態を図１～図６に基づいて説明する。

図１には、本発明に係る光源装置を含んで構成された一実施形態に係る露光装置１０の概略構成が示されている。この露光装置１０は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置である。

この露光装置１０は、光源装置１６及び照明光学系１２から成る照明系、この照明系からの露光用照明光（以下、「露光光」という）ＩＬにより照明されるマスクとしてのレチクルＲを保持するレチクルステージＲＳＴ、レチクルＲから射出された露光光ＩＬを基板としてのウエハＷ上に投射する投影光学系ＰＬ、ウエハＷを保持する基板ステージとしてのＺチルトステージ５８が搭載されたＸＹステージ１４、及びこれらの制御系等を備えている。

前記光源装置１６は、例えば、波長１９３ｎｍ（ＡｒＦエキシマレーザ光とほぼ同一波長）の紫外パルス光、あるいは波長１５７ｎｍ（Ｆ<sub>2</sub>レーザ光とほぼ同一波長）の紫外パルス光を出力する高調波発生装置である。この光源装置１６は、その少なくとも一部（例えば、後述の波長変換部など）が、前記照明光学系１２、レチクルステージＲＳＴ、投影光学系ＰＬ、Ｚチルトステージ５８、ＸＹステージ１４及びこれら各部が搭載された不図示の本体コラム等から成る露光装置本体とともに、温度、圧力、湿度等が高精度に調整されたエンバイロンメンタル・チャンバ（以下、「チャンバ」という）１１内に収容されている。

図２には、光源装置１６の内部構成が装置全体を統括制御する主制御装置５０とともにブロック図にて示されている。この図２に示されるように、光源装置１６は、光源としてのレーザ光源を含む光源部１６Ａ、レーザ制御装置１６Ｂ、光量制御装置１６Ｃ、及び偏光調整装置１６Ｄ等を備えている。

前記光源部１６Ａは、光発生部としてのパルス光発生部１６０、光増幅部１６１、偏光方向変換装置としての四分の一波長板１６２、波長変換器としての



波長変換部163、ビームモニタ機構164及び吸収セル165等を含んで構成されている。

前記パルス光発生部160は、レーザ光源160A、光カップラBS1、BS2、光アイソレータ160B及び光変調器としての電気光学変調器（以下、「EOM」という）160C等を有する。なお、レーザ光源160Aと波長変換部163との間の各要素間は光ファイバにより光学的に接続されている。

前記レーザ光源160Aとしては、ここでは、単一波長発振レーザ、例えば、発振波長 $1.544\mu\text{m}$ 、連続波出力（以下「CW出力」という）20mWのInGaAsP、DFB半導体レーザが用いられている。以下においては、レーザ光源160Aを適宜「DFB半導体レーザ160A」とも呼ぶものとする。

ここで、DFB半導体レーザとは、縦モード選択性の低いファブリーペロー型共振器の代わりに、回折格子を半導体レーザ内に作り上げたもので、どのような状況下であっても単一縦モード発振をするように構成されており、分布帰還型(Distributed Feedback: DFB)レーザと呼ばれるものである。この様なレーザでは基本的に単一縦モード発振をすることから、その発振スペクトル線幅は0.01pm以下に抑えられる。

また、DFB半導体レーザは、通常、ヒートシンクの上に設けられ、これらが筐体内に收容されている。本実施形態では、DFB半導体レーザ160Aに付設されるヒートシンク上に温度調整器（例えばペルチェ素子など）が設けられており、後述するように、レーザ制御装置16Bがその温度を制御することにより発振波長が制御（調整）可能な構成となっている。

本実施形態では、上記の発振波長の制御のため、DFB半導体レーザ160Aの発振波長の温度依存性を予め測定し、その測定結果を温度依存性マップとして主制御装置50に併設された記憶装置としてのメモリ51内に、テーブルの形、変換関数、あるいは変換係数として格納（記憶）している。

ここでは、DFB半導体レーザ160Aの発振波長は $0.1\text{nm}/^{\circ}\text{C}$ 程度の

温度依存性を持つものとする。従って、例えば、DFB半導体レーザの温度を1℃変化させると、基本波(1544nm)ではその波長が0.1nm変化するので、8倍波(193nm)ではその波長が0.0125nm変化し、10倍波(157nm)ではその波長が0.01nm変化することになる。

なお、露光装置では露光用照明光(パルス光)の波長をその中心波長に対して±20pm程度変化させることができれば十分である。従って、DFB半導体レーザ160Aの温度を8倍波では±1.6℃程度、10倍波では±2℃程度変化させれば良い。

なお、レーザ光源160Aとして、DFB半導体レーザ等の半導体レーザに限らず、例えば発振波長が990nm付近のイッテルビウム(Yb)・ドープ・ファイバーレーザなどを用いることもできる。

前記光カップラBS1、BS2としては、透過率が97%程度のものが用いられている。このため、DFB半導体レーザ160Aからのレーザ光は光カップラBS1で分波され、その97%程度が次段の光カップラBS2に入射し、残り3%程度がビームモニタ機構164に入射する。また、光カップラBS2に入射したレーザ光は、該光カップラBS2で分波され、その97%程度が次段の光アイソレータ160Bに向かって進み、残り3%程度が吸収セル165に入射するようになっている。

なお、ビームモニタ機構164、吸収セル165等については、後に更に詳述する。

前記光アイソレータ160Bは、光カップラBS2からEOM160Cに向かう方向の光のみを通過させ、反対向きの光の通過を阻止するためのデバイスである。この光アイソレータ160Bにより、反射光(戻り光)に起因するDFB半導体レーザ160Aの発振モードの変化や雑音の発生等が防止される。

前記EOM160Cは、光アイソレータ160Bを通過したレーザ光(CW光(連続光))をパルス光に変換するためのものである。EOM160Cとして

は、屈折率の時間変化に伴うチャープによる半導体レーザ出力の波長広がり小さくなるように、チャープ補正を行った電極構造を持つ電気光学変調器（例えば二電極型変調器）が用いられている。EOM160Cは、光量制御装置160Cから印加される電圧パルスに同期して変調されたパルス光を出力する。一例として、EOM160CによりDFB半導体レーザ160Aで発振されたレーザ光がパルス幅1ns、繰り返し周波数100kHz（パルス周期約10μs）のパルス光に変調されるものとする、この光変調の結果、EOM160Cから出力されるパルス光のピーク出力は20mW、平均出力は2μWとなる。なお、ここでは、EOM160Cの挿入による損失がないものとしたが、その挿入損失がある、例えば損失が-3dBである場合、パルス光のピーク出力は10mW、平均出力は1μWとなる。

なお、繰り返し周波数を100kHz程度以上に設定した場合には、後述するファイバ増幅器においてASE（Amplified Spontaneous Emission, 自然放光）ノイズの影響による増幅率低下を阻止することができるので、このようにすることが望ましい。

なお、EOM160Cのみを用いてパルス光をオフの状態にしてもその消光比が充分でない場合には、DFB半導体レーザ160Aの電流制御を併用することが望ましい。すなわち、半導体レーザなどではその電流制御を行うことで、出力光をパルス発振させることができるので、DFB半導体レーザ160Aの電流制御とEOM160Cとを併用してパルス光を発生させることが望ましい。一例として、DFB半導体レーザ160Aの電流制御によって、例えば10～20ns程度のパルス幅を有するパルス光を発振させるとともに、EOM160Cによってそのパルス光からその一部のみを切り出し、パルス幅が1nsのパルス光に変調する。このようにすれば、EOM160Cのみを用いる場合に比べて、パルス幅が狭いパルス光を容易に発生させることが可能になるとともに、パルス光の発振間隔や発振の開始及びその停止などをより簡単に制御する

ことが可能になる。

なお、EOM160Cに代えて、音響光学光変調素子(AOM)を用いることも可能である。

前記光増幅部161は、EOM160Cからのパルス光を増幅するもので、ここでは、複数のファイバ増幅器を含んで構成されている。図3には、この光増幅部161の構成の一例が、EOM160Cとともに示されている。

この図3に示されるように、光増幅部161は、チャンネル0からチャンネル127の総計128チャンネルを有する分岐及び遅延部167と、この分岐及び遅延部167のチャンネル0からチャンネル127の総計128チャンネルのそれぞれの出力段に接続されたファイバ増幅器 $168_1 \sim 168_{128}$ と、これらのファイバ増幅器 $168_1 \sim 168_{128}$ のそれぞれに狭帯域フィルタ $169_1 \sim 169_{128}$ 及び光アイソレータ $170_1 \sim 170_{128}$ をそれぞれ介して接続された最終段のファイバ増幅器 $171_1 \sim 171_{128}$ 等を備えている。この場合、図3からも明らかのように、ファイバ増幅器 $168_n$ 、狭帯域化フィルタ $169_n$ 、光アイソレータ $170_n$ 、及びファイバ増幅器 $171_n$  ( $n=1, 2, \dots, 128$ )によって、それぞれ光経路 $172_n$  ( $n=1, 2, \dots, 128$ )が構成されている。

光増幅部161の上記構成各部について更に詳述すると、前記分岐及び遅延部167は、総計128チャンネルのチャンネルを有し、各チャンネルの出力に所定の遅延時間(ここでは、3ns)を与えるためのものである。

この分岐及び遅延部167は、本実施形態では、EOM160Cから出力されるパルス光を35dB(3162倍)の光増幅を行うエルビウム(Er)・ドープ・ファイバ増幅器(EDFA)と、このEDFAの出力をチャンネル0~3の4出力に並列分割する光分岐装置であるスプリッタ(平板導波路1×4スプリッタ)と、このスプリッタのチャンネル0~3の各出力端に接続された各々長さの異なる4本の光ファイバと、これら4本の光ファイバの出力をそれぞれチャンネル0~31に32分割する4つのスプリッタ(平板導波路1×32スプリ

ッタ)と、各スプリッタのチャンネル0を除くチャンネル1～31にそれぞれ接続された長さの異なる各31本(総計124本)の光ファイバとを含んで構成されている。以下、上記各スプリッタ(平板導波路1×32スプリッタ)の0～31チャンネルを総称してブロックと呼ぶ。

これを更に詳述すると、上記初段のEDFAから出力されるパルス光は、ピーク出力約63W、平均出力約6.3mWとなる。このパルス光がスプリッタ(平板導波路1×4スプリッタ)によりチャンネル0～3の4出力に並列分割され、各チャンネルの出力光には、上記4本の光ファイバ長に対応した遅延が与えられる。例えば本実施形態では、光ファイバ中の光の伝搬速度を $2 \times 10^8 \text{ m/s}$ であるとし、スプリッタ(平板導波路1×4スプリッタ)のチャンネル0、1、2、3にそれぞれ0.1m、19.3m、38.5m、57.7mの長さの光ファイバ(以下、「第1の遅延ファイバ」と呼ぶ)が接続されている。この場合、各第1の遅延ファイバ出口での隣り合うチャンネル間の光の遅延は96nsとなる。

また、上記4つのスプリッタ(平板導波路1×32スプリッタ)のチャンネル1～31には、それぞれ $0.6 \times N$ メートル(Nはチャンネル番号)の長さの光ファイバ(以下、「第2の遅延ファイバ」と呼ぶ)が接続されている。この結果、各ブロック内の隣り合うチャンネル間では3nsの遅延が与えられ、各ブロックのチャンネル0出力に対し、チャンネル31出力は、 $3 \times 31 = 93 \text{ ns}$ の遅延が与えられる。

一方、第1から第4までの各ブロック間には、前記のように第1の遅延ファイバによって、各ブロックの入力時点で各々96nsの遅延が与えられている。従って、第2ブロックのチャンネル0出力は第1ブロックのチャンネル0出力に対し96nsの遅延となり、第1ブロックのチャンネル31との遅延は3nsとなる。このことは、第2～第3、第3～第4のブロック間においても同様である。この結果、全体の出力として総計128チャンネルの出力端で、隣り合うチャネ

ル間に  $3 \text{ ns}$  の遅延を持つパルス光が得られる。

以上の分岐及び遅延により、総計  $128$  チャンネルの出力端では、隣り合うチャンネル間で  $3 \text{ ns}$  の遅延を持つパルス光が得られるが、このとき各々の出力端で観測される光パルスは、EOM 160C によって変調されたパルスと同じ  $100 \text{ kHz}$  (パルス周期  $10 \mu\text{s}$ ) である。従って、レーザ光発生部全体として見ると、 $128$  パルスが  $3 \text{ ns}$  間隔で発生した後、 $9.62 \mu\text{s}$  の間隔を置いて次のパルス列が発生するという繰り返しが行われる。即ち全体の出力は  $128 \times 100 \times 10^3 = 1.28 \times 10^7$  パルス/秒となる。

なお、本実施形態では、分割数を  $128$  とし、また遅延用ファイバとして短いものを用いた例について説明した。このため各パルス列の間に  $9.62 \mu\text{s}$  の発光しない間隔が生じたが、分割数を増加させる、または遅延用ファイバをより長くして適切な長さとする、あるいはこれらを組み合わせて用いることにより、パルス間隔を完全な等間隔とすることも可能である。

前記ファイバ増幅器  $168_n$  ( $n=1, 2, \dots, 128$ ) としては、ここでは、通常通信で用いられているものと同様に光ファイバのモードフィールド径 (以下「モード径」という) が  $5 \sim 6 \mu\text{m}$  のエルビウム (Er)・ドープ・ファイバ増幅器 (EDFA) が用いられている。このファイバ増幅器  $168_n$  によって、遅延部 167 の各チャンネルからの出力光が、所定の増幅利得に応じて増幅される。なお、このファイバ増幅器  $168_n$  の励起光源等については後述する。

前記狭帯域フィルタ  $169_n$  ( $n=1, 2, \dots, 128$ ) は、ファイバ増幅器  $168_n$  で発生する ASE 光をカットし、かつ DFB 半導体レーザ 160A の出力波長 (波長幅は  $1 \text{ pm}$  程度以下) を透過させることで、透過光の波長幅を実質的に狭帯化するものである。これにより、ASE 光が後段のファイバ増幅器  $171_n$  に入射してレーザ光の増幅利得を低下させるのを防止し、あるいは ASE ノイズの伝播によるレーザ光の散乱を防止することができる。ここで、狭帯域フィルタ  $169_n$  はその透過波長幅が  $1 \text{ pm}$  程度であることが好ましいが、

A S E 光の波長幅は数十 nm 程度であるので、現時点で得られる透過波長幅が 1 0 0 p m 程度の狭帯域フィルタを用いても実用上問題がない程度に A S E 光をカットすることができる。

また、本実施形態では、後述するように D F B 半導体レーザ 1 6 0 A の出力波長を積極的に変化させることがあるので、その出力波長の可変幅（本実施形態の露光装置では一例として  $\pm 2 0$  p m 程度）に応じた透過波長幅（可変幅と同程度以上）を持つ狭帯域フィルタを用いておくことが好ましい。なお、露光装置に適用されるレーザ装置ではその波長幅が 1 p m 程度以下に設定される。

前記光アイソレータ 1 7 0<sub>n</sub> ( $n = 1, 2, \dots, 128$ ) は、先に説明した光アイソレータ 1 6 0 B と同様に、戻り光の影響を低減するためのものである。

前記ファイバ増幅器 1 7 1<sub>n</sub> ( $n = 1, 2, \dots, 128$ ) としては、ここでは、光ファイバ中での非線形効果による増幅光のスペクトル幅の増加を避けるため光ファイバのモード径が通常通信で用いられているもの ( $5 \sim 6 \mu m$ ) よりも広い、例えば  $20 \sim 30 \mu m$  の大モード径の E D F A が用いられている。このファイバ増幅器 1 7 1<sub>n</sub> は、前述したファイバ増幅器 1 6 8<sub>n</sub> で増幅された分岐及び遅延部 1 6 7 の各チャネルからの光出力を更に増幅する。一例として、分岐及び遅延部 1 6 7 での各チャネルの平均出力約  $50 \mu W$ 、全チャネルでの平均出力約  $6.3 mW$  を 2 段のファイバ増幅器 1 6 8<sub>n</sub>、1 7 1<sub>n</sub> によって合計  $46 dB$  ( $40600$  倍) の増幅を行うものとする、各チャネルに対応する光経路 1 7 2<sub>n</sub> の出力端（ファイバ増幅器 1 7 1<sub>n</sub> を構成する光ファイバの出力端）では、ピーク出力  $20 kW$ 、パルス幅  $1 ns$ 、パルス繰り返し周波数  $100 kHz$ 、平均出力  $2 W$ 、全チャネルでの平均出力  $256 W$  を得る。なお、このファイバ増幅器 1 7 1<sub>n</sub> の励起光源等についても後述する。

本実施形態では、分岐及び遅延部 1 6 7 での各チャネルに対応する光経路 1 7 2<sub>n</sub> の出力端、すなわちファイバ増幅器 1 7 1<sub>n</sub> を構成する各光ファイバの出力端は、バンドル状に束ねられ、図 4 に示されるような断面形状を有するバン

ドルーファイバ173が形成されている。このとき、各光ファイバのクラッド直径は125 $\mu$ m程度であることから、128本を束ねた出力端でのバンドルの直径は約2mm以下とすることができる。本実施形態では、バンドルファイバ173は最終段のファイバ増幅器171<sub>u</sub>の出力端をそのまま用いて形成しているが、最終段のファイバ増幅器171<sub>u</sub>に無ドープの光ファイバを結合させ、その出力端でバンドルファイバを形成することも可能である。

なお、標準的なモード径を持つ前段のファイバ増幅器168<sub>u</sub>と、上記モード径の広い最終段のファイバ増幅器171<sub>u</sub>との接続は、テーパ状にモード径が増加する光ファイバを用いて行われている。

次に、図5に基づいて各ファイバ増幅器の励起用光源等について説明する。図5には、光増幅部161を構成するファイバ増幅器及びその周辺部が、波長変換部163の一部とともに概略的に示されている。

この図5において、第1段のファイバ増幅器168<sub>u</sub>にはその励起用の半導体レーザ178がファイバ結合されるとともに、この半導体レーザ178の出力が波長分割多重化装置(Wavelength Division Multiplexer:WDM)179を通してファイバ増幅器用ドープ・ファイバに入力し、それによりこのドープ・ファイバが励起されるようになっている。

一方大モード径をもつファイバ増幅器171<sub>u</sub>では、上記のモード径の大きいファイバ増幅器用ドープ・ファイバを励起するための励起用光源としての半導体レーザ174を、ファイバ増幅器用ドープ・ファイバの径に合わせた大モード径ファイバにファイバ結合し、この半導体レーザ174の出力をWDM176を用いて、光増幅器用ドープ・ファイバに入力し、ドープ・ファイバを励起する。

この大モード径ファイバ(ファイバ増幅器)171<sub>u</sub>で増幅されたレーザ光は波長変換部163に入射し、ここで紫外レーザ光に波長変換される。なお、この波長変換部163の構成等については後述する。



大モード径ファイバ（ファイバ増幅器）171<sub>n</sub>を伝播する増幅されるべきレーザ光（信号）は、主に基本モードであることが望ましく、これは、シングルモードあるいはモード次数の低いマルチモードファイバにおいて、主に基本モードを選択的に励起することにより実現できる。

本実施形態では、大モード径ファイバに結合された高出力半導体レーザを、前方向から4個及び後方向から4個ファイバ結合している。ここで、励起用半導体レーザ光を効率良く光増幅用ドープ・ファイバに結合するためには、光増幅用ドープ・ファイバとして、クラッドが2重構造となったダブルクラッド構造の光ファイバを用いることが望ましい。このとき、励起用半導体レーザ光は、WDM176により、ダブルクラッドの内側クラッドに導入される。

前記半導体レーザ178、174は、光量制御装置16Cによって制御されるようになっている。

また、本実施形態では、前述した光経路172<sub>n</sub>を構成する光ファイバとしてファイバ増幅器168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub>が設けられているため、各ファイバ増幅器のゲインの差が各チャネルの光出力のばらつきとなる。このため、本実施形態では、各チャネルのファイバ増幅器（168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub>）で出力の一部が分岐され、それぞれの分岐端に設けられた光電変換素子180、181によってそれぞれ光電変換されるようになっている。これらの光電変換素子180、181の出力信号が光量制御装置16Cに供給されるようになっている。

光量制御装置16Cでは、各ファイバ増幅器からの光出力が各増幅段で一定になるように（即ちバランスするように）、各励起用半導体レーザ（178、174）のドライブ電流をフィードバック制御するようになっている。

さらに、本実施形態では、図5に示されるように、波長変換部163の途中でビームスプリッタにより分岐された光が光電変換素子182によって光電変換され、該光電変換素子182の出力信号が光量制御装置16Cに供給されるようになっている。光量制御装置16Cでは、この光電変換素子182の出力

信号に基づいて波長変換部 1 6 3 における光強度をモニタし、波長変換部 1 6 3 からの光出力が所定の光出力となるように、励起用半導体レーザ 1 7 8、1 7 4 の少なくとも一方のドライブ電流をフィードバック制御する。

このような構成とすることにより、各増幅段毎に各チャンネルのファイバ増幅器の増幅率が一定化されるため、各ファイバ増幅器間に偏った負荷がかかることがなく全体として均一な光強度が得られる。また、波長変換部 1 6 3 における光強度をモニタすることにより、予定される所定の光強度を各増幅段にフィードバックし、所望の紫外光出力を安定して得ることができる。

なお、光量制御装置 1 6 C については、後に更に詳述する。

上述のようにして構成された光増幅部 1 6 1 (バンドルファイバ 1 7 3 を形成する各光ファイバ出力端) からは、偏光調整装置 1 6 D によって後述するようにしてパルス光がすべて円偏光に揃えられて出力される。これら円偏光であるパルス光は、四分の一波長板 1 6 2 (図 2 参照) によって、すべて偏光方向が同一方向となる直線偏光に変換され、次段の波長変換部 1 6 3 に入射する。

前記波長変換部 1 6 3 は、複数の非線形光学結晶を含み、前記増幅されたパルス光 (波長  $1.544\ \mu\text{m}$  の光) をその 8 倍高調波又は 10 倍高調波に波長変換して、ArF エキシマレーザと同じ出力波長 ( $193\ \text{nm}$ ) あるいは  $F_2$  レーザと同じ出力波長 ( $157\ \text{nm}$ ) のパルス紫外光を発生する。

図 6 A、図 6 B には、この波長変換部 1 6 3 の構成例が示されている。ここで、これらの図に基づいて波長変換部 1 6 3 の具体例について説明する。

図 6 A は、バンドルファイバ 1 7 3 の出力端から射出される波長  $1.544\ \mu\text{m}$  の基本波を、非線形光学結晶を用いて 8 倍波 (高調波) に波長変換して、ArF エキシマレーザと同じ波長である  $193\ \text{nm}$  の紫外光を発生する構成例を示す。また、図 6 B は、バンドルファイバ 1 7 3 の出力端から射出される波長  $1.57\ \mu\text{m}$  の基本波を非線形光学結晶を用いて 10 倍波の高調波発生を行い、 $F_2$  レーザと同じ波長である  $157\ \text{nm}$  の紫外光を発生する構成例を示す。

図6Aの波長変換部では、基本波（波長 $1.544\mu\text{m}$ ）→2倍波（波長 $772\text{nm}$ ）→3倍波（波長 $515\text{nm}$ ）→4倍波（波長 $386\text{nm}$ ）→7倍波（波長 $221\text{nm}$ ）→8倍波（波長 $193\text{nm}$ ）の順に波長変換が行われる。

これを更に詳述すると、バンドルファイバ173の出力端から出力される波長 $1.544\mu\text{m}$ （周波数 $\omega$ ）の基本波は、1段目の非線形光学結晶533に入射する。基本波がこの非線形光学結晶533を通る際に、2次高調波発生により基本波の周波数 $\omega$ の2倍、すなわち周波数 $2\omega$ （波長は $1/2$ の $772\text{nm}$ ）の2倍波が発生する。なお、図6Aの場合には、上述の四分の一波長板162による直線偏光化は、非線形光学結晶533において2倍波が最も効率良く発生する偏光方向となるように行われる。かかる直線偏光の偏光方向の設定は、四分の一波長板162の光学軸の方向を調整することによって行われる。

この1段目の非線形光学結晶533として、 $\text{LiB}_3\text{O}_5$ （LBO）結晶が用いられ、基本波を2倍波に波長変換するための位相整合にLBO結晶の温度調節による方法、NCPM（Non-Critical Phase Matching）が使用される。NCPMは、非線形光学結晶内での基本波と第二高調波との角度ずれ（Walk-off）が起こらないため高効率で2倍波への変換を可能にし、また発生した2倍波はWalk-offによるビームの変形も受けないため有利である。

非線形光学結晶533で波長変換されずに透過した基本波と、波長変換で発生した2倍波とは、次段の波長板534でそれぞれ半波長、1波長の遅延が与えられて、基本波のみその偏光方向が90度回転し、2段目の非線形光学結晶536に入射する。2段目の非線形光学結晶536としてLBO結晶が用いられるとともに、そのLBO結晶は1段目の非線形光学結晶（LBO結晶）533とは温度が異なるNCPMで使用される。この非線形光学結晶536では、1段目の非線形光学結晶533で発生した2倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶533を透過した基本波とから和周波発生により3倍波（波長 $515\text{nm}$ ）を得る。

次に、非線形光学結晶 5 3 6 で得られた 3 倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶 5 3 6 を透過した基本波および 2 倍波とは、ダイクロイック・ミラー 5 3 7 により分離され、ここで反射された 3 倍波は集光レンズ 5 4 0、及びダイクロイック・ミラー 5 4 3 を通って 4 段目の非線形光学結晶 5 4 5 に入射する。一方、ダイクロイック・ミラー 5 3 7 を透過した基本波および 2 倍波は、集光レンズ 5 3 8 を通って 3 段目の非線形光学結晶 5 3 9 に入射する。

3 段目の非線形光学結晶 5 3 9 としては L B O 結晶が用いられ、基本波が波長変換されずにその L B O 結晶を透過するとともに、2 倍波が L B O 結晶で 2 次高調波発生により 4 倍波（波長 3 8 6 n m）に変換される。非線形光学結晶 5 3 9 で得られた 4 倍波とそれを透過した基本波とは、ダイクロイック・ミラー 5 4 1 により分離され、ここを透過した基本波は集光レンズ 5 4 4 を通るとともに、ダイクロイック・ミラー 5 4 6 で反射されて 5 段目の非線形光学結晶 5 4 8 に入射する。一方、ダイクロイック・ミラー 5 4 1 で反射された 4 倍波は、集光レンズ 5 4 2 を通ってダイクロイック・ミラー 5 4 3 に達し、ここでダイクロイック・ミラー 5 3 7 で反射された 3 倍波と同軸に合成されて 4 段目の非線形光学結晶 5 4 5 に入射する。

4 段目の非線形光学結晶 5 4 5 としては、 $\beta - \text{BaB}_2\text{O}_4$  (B B O) 結晶が用いられ、3 倍波と 4 倍波とから和周波発生により 7 倍波（波長 2 2 1 n m）を得る。非線形光学結晶 5 4 5 で得られた 7 倍波は集光レンズ 5 4 7 を通るとともに、ダイクロイック・ミラー 5 4 6 で、ダイクロイック・ミラー 5 4 1 を透過した基本波と同軸に合成されて、5 段目の非線形光学結晶 5 4 8 に入射する。

5 段目の非線形光学結晶 5 4 8 として L B O 結晶が用いられ、基本波と 7 倍波とから和周波発生により 8 倍波（波長 1 9 3 n m）を得る。上記構成において、7 倍波発生用 B B O 結晶 5 4 5、及び 8 倍波発生用 L B O 結晶 5 4 8 のかわりに、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$  (C L B O) 結晶、あるいは  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (L B 4) 結

晶を用いることも可能である。

この図 6 A の構成例では、4 段目の非線形光学結晶 5 4 5 に 3 倍波と 4 倍波とが互いに異なる光路を通して入射するので、3 倍波を集光するレンズ 5 4 0 と、4 倍波を集光するレンズ 5 4 2 とを別々の光路に置くことができる。3 段目の非線形光学結晶 5 3 9 で発生した 4 倍波はその断面形状が Walk-off 現象により長円形になっている。このため、4 段目の非線形光学結晶 5 4 5 で良好な変換効率を得るためには、その 4 倍波のビーム整形を行うことが望ましい。この場合、集光レンズ 5 4 0、5 4 2 を別々の光路に配置しているので、例えばレンズ 5 4 2 としてシリンドリカルレンズ対を用いることができ、4 倍波のビーム整形を容易に行うことが可能となる。このため、4 段目の非線形光学結晶（BBO 結晶）5 4 5 での 3 倍波との重なりを良好にし、変換効率を高めることが可能である。

さらに、5 段目の非線形光学結晶 5 4 8 に入射する基本波を集光するレンズ 5 4 4 と、7 倍波を集光するレンズ 5 4 7 とを別々の光路に置くことができる。4 段目の非線形光学結晶 5 4 5 で発生した 7 倍波はその断面形状が Walk-off 現象により長円形になっている。このため、5 段目の非線形光学結晶 5 4 8 で良好な変換効率を得るためには、その 7 倍波のビーム整形を行うことが好ましい。本実施例では、集光レンズ 5 4 4、5 4 7 を別々の光路に配置することができるので、例えばレンズ 5 4 7 としてシリンドリカルレンズ対を用いることができ、7 倍波のビーム整形を容易に行うことが可能となる。このため、5 段目の非線形光学結晶（LBO 結晶）5 4 8 での基本波との重なりを良好にし、変換効率を高めることが可能である。

なお、2 段目の非線形光学結晶 5 3 6 と 4 段目の非線形光学結晶 5 4 5 との間の構成は図 6 A に限られるものではなく、非線形光学結晶 5 3 6 から発生してダイクロイック・ミラー 5 3 7 で反射される 3 倍波と、非線形光学結晶 5 3 6 から発生してダイクロイック・ミラー 5 3 7 を透過する 2 倍波を非線形光学

結晶 5 3 9 で波長変換して得られる 4 倍波とが同時に非線形光学結晶 5 4 5 に入射するように、両非線形光学結晶 5 3 6、5 4 5 間の 2 つの光路長が等しくなっていれば、いかなる構成であっても構わない。このことは 3 段目の非線形光学結晶 5 3 9 と 5 段目の非線形光学結晶 5 4 8 との間でも同様である。

発明者の行った実験によれば、図 6 A の場合、各チャネル当たりの 8 倍波（波長 1 9 3 nm）の平均出力は、4 5. 9 mW であった。従って、全 1 2 8 チャネルを合わせたバンドルからの平均出力は 5. 9 W となり、露光装置用光源として十分な出力の、波長 1 9 3 nm の紫外光を提供することができる。

この場合、8 倍波（1 9 3 nm）の発生に、現在、市販品として良質の結晶が容易に入手可能な L B O 結晶が用いられている。この L B O 結晶は、1 9 3 nm の紫外光の吸収係数が非常に小さく、結晶の光損傷が問題とならないため耐久性の面で有利である。

また、8 倍波（例えば波長 1 9 3 nm）の発生部では L B O 結晶を角度位相整合させて用いるが、この位相整合角が大きいために実効非線形光学定数（ $d_{eff}$ ）が小さくなる。そこで、この L B O 結晶に温度制御機構を設け、L B O 結晶を高温で用いることが好ましい。これにより、位相整合角を小さくすることができる、即ち上記定数（ $d_{eff}$ ）を増加させることができ、8 倍波発生効率を向上させることができる。

図 6 B の波長変換部では、基本波（波長 1. 5 7  $\mu$ m）→2 倍波（波長 7 8 5 nm）→4 倍波（波長 3 9 2. 5 nm）→8 倍波（波長 1 9 6. 2 5 nm）→1 0 倍波（波長 1 5 7 nm）の順に波長変換する。本構成例では 2 倍波発生から 8 倍波発生までの各波長変換段において、各波長変換段に入射された波長の 2 次高調波発生を行っている。

また、本構成例では波長変換に使用する非線形光学結晶として、基本波から 2 次高調波発生により 2 倍波を発生する非線形光学結晶 6 0 2 として L B O 結晶を使用し、2 倍波から 2 次高調波発生により 4 倍波を発生する非線形光学結

晶 6 0 4 として L B O 結晶を使用する。さらに、4 倍波から 2 次高調波発生により 8 倍波を発生する非線形光学結晶 6 0 9 には  $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$  (S B B O) 結晶を使用し、2 倍波と 8 倍波とから和周波発生により 1 0 倍波 (波長 1 5 7 nm) を発生する非線形光学結晶 6 1 1 には S B B O 結晶を使用する。

なお、非線形光学結晶 6 0 2 から発生する 2 倍波は、集光レンズ 6 0 3 を通って非線形光学結晶 6 0 4 に入射し、この非線形光学結晶 6 0 4 は前述の 4 倍波と波長変換されない 2 倍波とを発生する。次に、ダイクロイック・ミラー 6 0 5 を透過する 2 倍波は集光レンズ 6 0 6 を通るとともに、ダイクロイック・ミラー 6 0 7 で反射されて非線形光学結晶 6 1 1 に入射する。一方、ダイクロイック・ミラー 6 0 5 で反射された 4 倍波は、集光レンズ 6 0 8 を通って非線形光学結晶 6 0 9 に入射し、ここで発生される 8 倍波は集光レンズ 6 1 0、及びダイクロイック・ミラー 6 0 7 を通って非線形光学結晶 6 1 1 に入射する。さらに非線形光学結晶 6 1 1 は、ダイクロイック・ミラー 6 0 7 で同軸に合成される 2 倍波と 8 倍波とから和周波発生により 1 0 倍波 (波長 1 5 7 nm) を発生する。

ところで、本構成例では 2 段目の非線形光学結晶 6 0 4 から発生する 2 倍波と 4 倍波とをダイクロイック・ミラー 6 0 5 で分岐することで、ここを透過した 2 倍波と、4 倍波を非線形光学結晶 6 0 9 で波長変換して得られる 8 倍波とが互いに異なる光路を通過して 4 段目の非線形光学結晶 6 1 1 に入射するように構成したが、ダイクロイック・ミラー 6 0 5、6 0 7 を用いずに 4 つの非線形光学結晶 6 0 2、6 0 4、6 0 9、6 1 1 を同一光軸上に配置しても良い。

但し、本構成例では 2 段目の非線形光学結晶 6 0 4 で発生した 4 倍波はその断面形状が Walk-off 現象により長円形になっている。このため、このビームを入力とする 4 段目の非線形光学結晶 6 1 1 で良好な変換効率を得るためには、入射ビームとなる 4 倍波のビーム形状を整形し、2 倍波との重なりを良好にすることが望ましい。本構成例では、集光レンズ 6 0 6、6 0 8 を別々の光路に

配置することができるので、例えばレンズ608としてシリンドリカルレンズを用いることが可能になり、4倍波のビーム整形を容易に行うことができる。このため、4段目の非線形光学結晶611での2倍波との重なりを良好にし、変換効率を高めることが可能である。

なお、上記図6A、図6Bに示される波長変換部は一例であって、本発明の波長変換部の構成がこれに限定されないことは勿論である。例えば、バンドルファイバ173の出力端から射出される波長 $1.57\mu\text{m}$ の基本波を非線形光学結晶を用いて10倍波の高調波発生を行い、 $F_2$ レーザと同じ波長である $157\text{nm}$ の紫外光を発生することにしてもよい。

図2に戻り、前記ビームモニタ機構164は、ここではファブリペロー・エタロン (Fabry-Perot etalon: 以下、「エタロン素子」ともいう) 及びフォトダイオード等の光電変換素子から成るエネルギーモニタ (いずれも図示省略) から構成されている。ビームモニタ機構164を構成するエタロン素子に入射した光は、エタロン素子の共鳴周波数と入射光の周波数との周波数差に対応した透過率で透過し、その透過光強度を検出するフォトダイオード等の出力信号がレーザ制御装置16Bに供給される。レーザ制御装置16Bではこの信号に所定の信号処理を施すことにより、ビームモニタ機構164、具体的にはエタロン素子に対する入射光の光学特性に関する情報 (具体的には、入射光の中心波長及び波長幅 (スペクトル半値幅) 等) を得る。そして、この光学特性に関する情報は、リアルタイムで主制御装置50に通知される。

エタロン素子の生成する透過光強度の周波数特性は、雰囲気温度や圧力の影響を受け、特にその共鳴周波数 (共鳴波長) は温度依存性がある。このため、このエタロン素子の検出結果に基づいてレーザ光源160Aから発振されるレーザ光の中心波長を精度良く制御するためには、この共鳴波長の温度依存性を調べておくことが重要である。本実施形態では、この共鳴波長の温度依存性を予め計測し、この計測結果が温度依存性マップとして主制御装置50に併設さ



れた記憶装置としてのメモリ 51（図 1 参照）に記憶されている。なお、この温度依存性マップは、メモリ 51 内にテーブルの形で持たせても良いし、関数又は係数として持たせても良い。

そして、主制御装置 50 では、ビームモニタ機構 164 の後述する絶対波長キャリブレーションの際等に、温度依存性マップに基づいて、エタロン素子の透過率が最大となる共鳴波長（検出基準波長）が設定波長に正確に一致するようにするため、レーザ制御装置 16B に指示を与えて、ビームモニタ機構 164 内のエタロン素子の温度を積極的に制御するようになっている。

また、ビームモニタ機構 164 を構成するエネルギーモニタの出力は、主制御装置 50 に供給されており、主制御装置 50 ではエネルギーモニタの出力に基づいてレーザ光のエネルギーパワーを検出し、レーザ制御装置 16B を介して DFB 半導体レーザ 160A で発振されるレーザ光の光量を必要に応じて制御したり、DFB 半導体レーザ 160A をオフしたりする。但し、本実施形態では、後述するように、通常の光量制御（露光量制御）は、主として光量制御装置 16C により、EOM 160C の出力パルス光のピークパワーあるいは周波数の制御、又は光増幅部 161 を構成する各ファイバ増幅器の出力光のオン・オフ制御によって行われるので、レーザ光のエネルギーパワーが何らかの原因で大きく変動した場合に主制御装置 50 がレーザ制御装置 16B を上記の如く制御することとなる。

前記吸収セル 165 は、DFB 半導体レーザ 160A の発振波長の絶対波長キャリブレーション、すなわちビームモニタ機構 164 の絶対波長キャリブレーションのための絶対波長源である。本実施形態では、この吸収セル 165 として、レーザ光源として発振波長  $1.544\ \mu\text{m}$  の DFB 半導体レーザ 160A が用いられている関係から、この波長近傍の波長帯域に吸収線が密に存在するアセチレンの同位体が用いられている。

なお、後述するように、レーザ光の波長のモニタ用の光として、基本波とと

もにあるいはこれに代えて、上述した波長変換部 163 の中間波（2 倍波、3 倍波、4 倍波等）あるいは波長変換後の光を選択する場合には、それらの中間波等の波長帯域に吸収線が密に存在する吸収セルを用いれば良い。例えば、波長のモニタ用の光として、3 倍波を選択する場合には、波長 503 nm～530 nm の近傍に吸収線が密に存在するヨウ素分子を吸収セルとして用い、そのヨウ素分子の適切な吸収線を選んでその波長を絶対波長とすれば良い。

また、絶対波長源としては、吸収セルに限らず、絶対波長光源を用いても良い。

前記レーザ制御装置 16B は、主制御装置 50 の管理の下、ビームモニタ機構 164 の出力に基づいてレーザ光の中心波長及び波長幅（スペクトル半値幅）を検出し、中心波長が所望の値（設定波長）となるように DFB 半導体レーザ 160A の温度制御（及び電流制御）をフィードバック制御にて行う。本実施形態では、DFB 半導体レーザ 160A の温度を 0.001℃単位で制御することが可能となっている。

また、このレーザ制御装置 16B は、主制御装置 50 からの指示に応じて、DFB 半導体レーザ 160A のパルス出力と連続出力との切替、及びそのパルス出力時における出力間隔やパルス幅などの制御を行うとともに、パルス光の出力変動を補償するように、DFB 半導体レーザ 160A の発振制御を行う。

このようにして、レーザ制御装置 16B では、発振波長を安定化して一定の波長に制御したり、あるいは出力波長を微調整する。逆に、このレーザ制御装置 16B は、主制御装置 50 からの指示に応じて、DFB 半導体レーザ 160A の発振波長を積極的に変化させてその出力波長を調整することもある。これについては、更に後述する。

次に、DFB 半導体レーザで発振されるレーザ光の波長安定化制御方法について説明する。

まず、波長安定化制御の前提となるビームモニタ機構 164 内のエタロン素

子の絶対波長キャリブレーションについて説明する。

前述の如く、本実施形態では、DFB半導体レーザ160Aの発振波長及びビームモニタ機構164内のエタロン素子の共鳴波長( $\lambda_{res}$ )の温度依存性が予め測定され、その測定結果がメモリ51に記憶されている。

そこで、エタロン素子の絶対波長キャリブレーションに際して、主制御装置50では、レーザ制御装置16Bを介してDFB半導体レーザ160Aを発振させた状態で、レーザ制御装置16Bを介して吸収セル165の透過率が最大となる設定波長( $\lambda_{set}$ )に最も近い、あるいは一致する波長( $\lambda_{ref}$ )の吸収線を選択するとともに、そのときエタロン素子の透過率が最大となるように、レーザ制御装置16Bに指示を与えてビームモニタ機構164内のエタロン素子の温度を制御する。すなわち、エタロン素子の共鳴波長( $\lambda_{res}$ )が絶対波長( $\lambda_{ref}$ )を用いてキャリブレーションする。これにより、エタロン素子の検出基準波長である $\lambda_{res}$ が絶対波長( $\lambda_{ref}$ )に一致する。

ここで、上記の絶対波長キャリブレーションを行う際に、主制御装置は、レーザ制御装置16Bを介してDFB半導体レーザ160Aの発振波長を所定範囲内で変化させることとしても良い。このようにすると、発振開始時点でDFB半導体レーザ160Aの発振波長が設定波長から大きくずれていたような場合であっても速やかに吸収セル165の透過率が最大となる設定波長( $\lambda_{set}$ )に最も近い、あるいは一致する波長( $\lambda_{ref}$ )の吸収線を選択することが可能になり、絶対波長キャリブレーションを短時間で完了することができる。

そして、上記の絶対波長キャリブレーションが完了すると、主制御装置50ではメモリ51内に記憶されているエタロン素子の共鳴波長( $\lambda_{res}$ )の温度依存性のデータを用いてレーザ制御装置16Bを介してエタロン素子の温度制御を行い、エタロン素子の共鳴波長( $\lambda_{res}$ )を設定波長( $\lambda_{set}$ )に設定する設定波長キャリブレーションを実行する。

このように、本実施形態の波長安定化制御方法によると、エタロン素子の共

鳴波長 ( $\lambda_{res}$ )、すなわち検出基準波長を設定波長に確実に一致させることができる。

そして、それ以後は、レーザ制御装置 16 B により、設定波長キャリブレーションが完了したエタロン素子の検出値 (ビームモニタ機構 164 のモニタ結果) に基づいて DFB 半導体レーザ 160 A の温度制御及び電流制御がフィードバック制御にて行われるようになっている。ここで、レーザ制御装置 16 B が、DFB 半導体レーザ 160 A の温度制御のみでなく、供給電流 (ドライブ電流) の制御をも行うのは、電流制御による方が応答性が良いためである。

例えば、前者によれば、波長変動による投影光学系 PL の収差 (結像特性) の発生、又はその変動が防止され、パターン転写中にその像特性 (像質などの光学的特性) が変化することがなくなる。

また、後者によれば、露光装置が組立、調整される製造現場と露光装置の設置場所 (納入先) との標高差や気圧差、更には環境 (クリーンルーム内の雰囲気) の違いなどに応じて生じる投影光学系 PL の結像特性 (収差など) の変動を相殺でき、納入先で露光装置の立ち上げに要する時間を短縮することが可能になる。更に、後者によれば、露光装置の稼働中に、露光用照明光の照射、及び大気圧変化などに起因して生じる投影光学系 PL の収差、投影倍率、及び焦点位置などの変動も相殺でき、常に最良の結像状態でパターン像を基板上に転写することが可能となる。

前記光量制御装置 16 C は、前述したように、光増幅部 161 内のファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> の光出力を検出する光電変換素子 180、181 の出力に基づいて各励起用半導体レーザ (178、174) のドライブ電流をフィードバック制御して、各増幅段毎に各チャネルのファイバ増幅器の増幅率を一定化させる機能と、波長変換部 163 途中でビームスプリッタにより分岐された光を検出する光電変換素子 182 の出力信号に基づいて、励起用半導体レーザ 178、174 の少なくとも一方のドライブ電流をフィードバック制御して

予定される所定の光強度を各増幅段にフィードバックし、所望の紫外光出力を安定させる機能とを有する。

更に、本実施形態では、光量制御装置 16 C は、次のような機能をも有している。

すなわち、光量制御装置 16 C は、

- ① 主制御装置 50 からの指示に応じて、バンドルファイバ 173 を構成する各チャンネルのファイバの出力、すなわち各光経路 172<sub>n</sub> の出力を個別にオン・オフ制御することにより、バンドル全体での平均光出力の制御を行う機能（以下、便宜上「第 1 の機能」と呼ぶ）と、
- ② 主制御装置 50 からの指示に応じて、EOM 160 C から出力されるパルス光の周波数を制御することにより、単位時間当たりの光増幅部 161 の各チャンネルの平均光出力（出力エネルギー）、すなわち単位時間当たりの各光経路 172<sub>n</sub> からの出力光の強度を制御する機能（以下、便宜上「第 2 の機能」と呼ぶ）と、
- ③ 主制御装置 50 からの指示に応じて、EOM 160 C から出力されるパルス光のピークパワーを制御することにより、単位時間当たりの光増幅部 161 の各チャンネルの平均光出力（出力エネルギー）、すなわち単位時間当たりの各光経路 172<sub>n</sub> からの出力光の強度を制御する機能（以下、便宜上「第 3 の機能」と呼ぶ）と、を有する。

以下、上記第 1 ～第 3 の機能について、詳述する。

まず、光量制御装置 16 C は、上記第 1 の機能における各光経路 172<sub>n</sub> の出力のオン・オフを、各チャンネルの最終段のファイバ増幅器 171<sub>n</sub> からの出力をオン・オフすることにより行う。この場合、光量制御装置 16 C では、ファイバ増幅器励起用半導体レーザ 174 をオン・オフする、すなわち半導体レーザ 174 からの励起光の強度を所定レベルと零レベルとのいずれかに択一的に設定することにより行うこともできるし、半導体レーザ 174 のドライブ電流の

電流値を調整することにより、半導体レーザ 174 からの励起光の強度をファイバ増幅器 171<sub>j</sub> が増幅可能状態となる第 1 レベルと、ファイバ増幅器 171<sub>j</sub> が増幅不能状態となる第 2 レベルとのいずれかに択一的に設定することにより行なうこともできる。増幅不能状態では、光の吸収が大きくなり、ファイバ増幅器からの出力は殆ど零となるので、各光経路 172<sub>j</sub> の出力がオフとなる。

半導体レーザ 174 をオン・オフする場合には、半導体レーザ 174 をオフにしている状態では、その分の消費電力はなくなるので、エネルギーセーブが可能になる。一方、半導体レーザ 174 からの励起光の強度を上記第 1 レベルと第 2 レベルとで切り換える場合には、第 1 レベルと第 2 レベルとは固定値であっても良いが、固定値でなくても良い。すなわち、ファイバ増幅器では、励起光の強度がある値を境として、上にいくか下にいくかで、増幅可能状態となるか増幅不能状態となるかが定まるからである。

この光量制御装置 16C の第 1 の機能によると、バンドル全体での平均光出力（光量）は、最大出力光量の  $1/128$  刻みで（約 1 % 以下毎）に制御可能である。すなわち、ダイナミックレンジが  $1 \sim 1/128$  という広い範囲に設定可能である。各光経路 172<sub>j</sub> は同じ構成部材を用いて構成されているので、設計上は、各光経路 172<sub>j</sub> の光出力は等しくなる筈であり、上記  $1/128$  刻みの光量制御はリニアリティの良いものとなる。

また、本実施形態では、光増幅部 161 の出力、すなわちバンドルファイバ 173 の出力を波長変換する波長変換部 163 が設けられているが、この波長変換部 163 出力は、各光経路 172<sub>j</sub> の出力、すなわちファイバ増幅器 171<sub>j</sub> の出力がオンであるファイバ数に比例するため、設定光量に対し、最大出力光量の  $1/128$  刻みのリニアな（約 1 % ごと）制御が原則的には可能となる筈である。

しかしながら、実際には、製造上の誤差等に起因して各光経路 172<sub>j</sub> の出力のばらつきや、各光経路 172<sub>j</sub> の出力に対する波長変換効率のばらつき等が存

在する可能性が高いので、予め各光ファイバ（光経路 172<sub>0</sub>）の出力のばらつき、及び各光ファイバ出力に対する波長変換効率のばらつき等に起因する出力のばらつきを測定し、その測定結果に基づいて各光ファイバからの光出力のオン・オフ状況に対応する波長変換部 163 からの光出力の強度のマップ（オンにするファイバグループに対応した出力強度の換算表）である第 1 の出力強度マップを作成し、その第 1 の出力強度マップを主制御装置 50 に併設されたメモリ 51 内に格納している。なお、この第 1 の出力強度マップは、メモリ 51 内にテーブルの形で持たせても良いし、関数又は係数として持たせても良い。なお、後述する第 2、第 3 の出力強度マップも同様である。

そして、光量制御装置では、本第 1 の機能により光量制御を行う際に、主制御装置 50 から与えられる設定光量と上記の出力強度マップとに基づいて光量制御を行うようになっている。

また、光量制御装置 16C は、上記第 2 の機能における EOM 160C から出力されるパルス光の周波数制御を、EOM 160C に印加する矩形波（電圧パルス）の周波数を変えることにより行う。EOM 160C から出力されるパルス光の周波数は EOM 160C に印加する電圧パルスの周波数に一致するため、印加電圧を制御することにより出力パルス光の周波数を制御することとしたものである。

本実施形態の場合、前述の如く、EOM 160C に印加する矩形波の周波数は 100kHz である。例えば、この周波数を 110kHz とすれば、EOM 160C から出力される単位時間あたりの光パルス数は 10% 増加し、このパルスが、前述と同様に、分岐及び遅延部 167 により各パルス毎に順次チャネル 0 からチャネル 127 の総計 128 チャネルに振り分けられる結果、各チャネルについて見ても単位時間当たりのパルス光は 10% 増加し、光パルス 1 個あたりの光エネルギーが同一、すなわちパルス光のピークパワーが一定であれば、単位時間当たりの各光経路 172<sub>0</sub> の出力光強度（光量）も 10% 増加する。

また、本実施形態では、光増幅部 161 の各チャネルの出力光の波長変換を行う波長変換部 163 が設けられているが、この波長変換部 163 の単位時間当たりの出力光の光量は、ピークパワーが一定であれば、各チャネルの出力パルスの周波数に比例する。このように、本第 2 の機能による光量制御は、リニアリティに優れた制御となる。

但し、EOM 160C から出力されるパルス光は、遅延部 167 を経て、ファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> の入力となるため、実際には、上述のようなりニアリティが得られるとは限らない。すなわち、一般に、ファイバ増幅器の増幅利得は、入力光強度依存性があるため、EOM 160C の出力光の周波数を変えると、ファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> の入力光強度が変化し、その結果ファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> から出力されるパルス光のピークパワーが変化する可能性があるからである。ファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> を適切に設計することにより、このピークパワー変化を小さく抑えることも可能ではあるが、ファイバ増幅器の光出力効率等の他の性能を低下させる場合もある。

そこで、本実施形態では、予めファイバ増幅器出力の入力周波数強度依存性を測定し、それに基づいて光増幅部 161 に入力するパルス光の周波数に応じた光増幅部 161 (の各チャネル) の出力強度のマップである第 2 の出力強度マップ (EOM の出力光の周波数に対応した光増幅部 161 の出力強度の換算表) を作成し、その第 2 の出力強度マップをメモリ 51 に記憶している。

そして、光量制御装置 16C では、本第 2 の機能により光量制御を行う際に、主制御装置 50 から与えられる設定光量と上記の第 2 の出力強度マップとに基づいて光量制御を行うようになっている。

また、光量制御装置 16C は、上記第 3 の機能における EOM 160C から出力されるパルス光のピークパワーの制御を、EOM 160C へ印加する電圧パルスのピーク強度を制御することにより行う。EOM 160C の出力光のピークパワーは EOM 160C に印加する電圧パルスのピーク強度に依存するた



めである。

また、本実施形態では、光増幅部 161 の各チャネルの出力光の波長変換を行う波長変換部 163 が設けられているが、この波長変換部 163 の出力光強度は、各光ファイバ（光経路 172<sub>n</sub>）から出力されるパルス光のピーク強度に対し、最高では高調波の次数のべき乗に比例した非線形の依存性を示す。例えば、図 6A の 8 倍波発生による 193 nm 光発生では、193 nm 光出力強度はファイバ増幅器出力のピークパワーの最大で 8 乗に比例した強度変化を示す。

本実施形態の場合、EOM 160C から出力されるパルス光のピークパワーの EOM 160C に印加する電圧パルスのピーク強度に対する依存性は、 $\cos(V)$  であるため、結果的に上記の波長変換部 163 の非線形な依存性は緩和されるようになっている。従って、本実施形態のように波長変換部を有する光源装置では、出力光の強度（光量）制御を EOM 160C へ印加する電圧パルスのピーク強度を制御することにより行うことは意味がある。

但し、前述の如く、ファイバ増幅器の増幅利得は、入力光強度依存性があるため、EOM 160C から出力されるパルス光のピーク強度を変えると、ファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> の入力光強度が変化し、その結果ファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> から出力されるパルス光のピークパワーが変化する場合がある。ファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> を適切に設計することにより、このピークパワー変化を小さく抑えることも可能ではあるが、ファイバ増幅器の光出力効率等の他の性能を低下させる場合もある。

そこで、本実施形態では、予めファイバ増幅器出力の入力パルスピーク強度依存性を測定し、それに基づいて光増幅部 161 に入力するパルス光のピーク強度に対応した光増幅部 161（の各チャネル）の出力強度のマップである第 3 の出力強度マップ（EOM の出力光のピーク強度に対応した光増幅部 161 の出力パルス光の強度の換算表）を作成し、その第 3 の出力強度マップをメモリ 51 に記憶している。この第 3 の出力強度マップは波長変換部出力である紫

外光強度マップであっても良い。

そして、光量制御装置 16 C では、本第 3 の機能により光量制御を行う際に、主制御装置 50 から与えられる設定光量と上記の第 3 の出力強度マップとに基づいて光量制御を行うようになっている。

なお、DFB 半導体レーザ 160 A の出力段に、EOM 160 C の他に透過率制御用の EOM を設け、この EOM に印加する電圧を変化させることによりその EOM の透過率を変化させて、単位時間あたりの光増幅部、波長変換部からの放出エネルギーを変えることも可能である。

これまでの説明から明らかなように、光量制御装置 16 C による第 2、第 3 の機能では、第 1 の機能に比べて、より細やかな光源装置 16 の出力光の光量制御が可能である。一方、第 1 の機能は、第 2、第 3 の機能に比べて、ダイナミックレンジを広く設定することが可能である。

そこで、本実施形態では、後述する露光に際して、光量制御装置 16 C の上記第 1 の機能により露光量の粗調整を行い、第 2、第 3 の機能を用いて露光量の微調整を行うようになっている。これについては、後述する。

光量制御装置 16 C は、この他、主制御装置 50 からの指示に基づいてパルス出力の開始と停止なども制御する。

前記偏光調整装置 16 D は、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> よりも前段の光部品の偏光特性を制御することにより、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> から射出される光を円偏光化する。なお、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> のドープ・ファイバがほぼ円筒対称な構造を有しており、かつ、比較的短い場合には、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> に入射する光を円偏光化することによっても、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> から射出される光を円偏光化することができる。

ここで、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> よりも前段の光部品には、上述した光増幅部 161 の各要素を光学的に結合するための不図示のリレー光ファイバ等がある。こうしたリレー光ファイバ等の偏光特性の制御方法としては、例えばリ

レー光ファイバに非等方的な力学的ストレスを加える方法があり、本実施形態でもこの方法を採用している。

一般に、リレー光ファイバは円筒対称な屈折率分布を有しているが、非等方的な力学的ストレスが加わると非等方的な応力がリレー光ファイバに発生し、この応力により非等方的な屈折率分布が生じる。こうした非等方的な屈折率分布の発生量を制御することによって、リレー光ファイバの偏光特性を制御することができる。

また、リレー光ファイバの応力による屈折率分布の変化量や他の光部品の偏光特性は一般に温度に依存している。このため、偏光調整装置 16 D は、リレー光ファイバ等の周囲温度を一定とする温度制御を行って、一度行った円偏光化が維持可能としている。

なお、上記の温度制御を行わずに、リレー光ファイバよりも下流側のいずれかの位置で光の偏光状態のモニタを行い、このモニタ結果に基づいて、リレー光ファイバの偏光特性すなわち屈折率分布を制御してもよい。

図 1 に戻り、前記照明光学系 12 は、ビーム整形光学系 18、オプティカルインテグレータ（ホモジナイザ）としてのフライアイレンズ系 22、照明系開口絞り板 24、ビームスプリッタ 26、第 1 リレーレンズ 28 A、第 2 リレーレンズ 28 B、固定レチクルブラインド 30 A、可動レチクルブラインド 30 B、光路折り曲げ用のミラー M 及びコンデンサレンズ 32 等を備えている。

前記ビーム整形光学系 18 は、光源装置 16 の波長変換部 163 の波長変換により発生した紫外域の光、（以下、「レーザビーム」と呼ぶ）LB の断面形状を、該レーザビーム LB の光路後方に設けられたフライアイレンズ系 22 に効率良く入射するように整形するもので、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等で構成される。

前記フライアイレンズ系 22 は、ビーム整形光学系 18 から出たレーザビーム LB の光路上に配置され、レチクル R を均一な照度分布で照明するために多

数の光源像からなる面光源、即ち２次光源を形成する。この２次光源から射出されるレーザビームを本明細書においては、「露光光ⅠＬ」とも呼んでいる。

フライアイレンズ系２２の射出面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板２４が配置されている。この照明系開口絞り板２４には、等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである $\sigma$ 値を小さくするための開口絞り、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り（図１ではこのうちの２種類の開口絞りのみが図示されている）等が配置されている。この照明系開口絞り板２４は、主制御装置５０により制御されるモータ等の駆動装置４０により回転されるようになっており、これによりレチクルパターンに応じていずれかの開口絞りが露光光ⅠＬの光路上に選択的に設定される。

照明系開口絞り板２４から出た露光光ⅠＬの光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ２６が配置され、更にこの後方の光路上に、固定レチクルブラインド３０Ａ及び可動レチクルブラインド３０Ｂを介在させて第１リレーレンズ２８Ａ及び第２リレーレンズ２８Ｂから成るリレー光学系が配置されている。

固定レチクルブラインド３０Ａは、レチクルＲのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルＲ上の照明領域４２Ｒを規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド３０Ａの近傍に走査方向の位置及び幅が可変の開口部を有する可動レチクルブラインド３０Ｂが配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動レチクルブラインド３０Ｂを介して照明領域４２Ｒを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。

リレー光学系を構成する第２リレーレンズ２８Ｂ後方の露光光ⅠＬの光路上には、当該第２リレーレンズ２８Ｂを通過した露光光ⅠＬをレチクルＲに向け

て反射する折り曲げミラーMが配置され、このミラーM後方の露光光I Lの光路上にコンデンサレンズ3 2が配置されている。

更に、照明光学系1 2内のビームスプリッタ2 6で垂直に折り曲げられる一方の光路上、他方の光路上には、インテグレータセンサ4 6、反射光モニタ4 7がそれぞれ配置されている。これらインテグレータセンサ4 6、反射光モニタ4 7としては、遠紫外域及び真空紫外域で感度が良く、且つ光源装置1 6のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有するSi系PIN型フォトダイオードが用いられている。なお、インテグレータセンサ4 6、反射光モニタ4 7としてGaN系結晶を有する半導体受光素子を用いることも可能である。

以上の構成において、フライアイレンズ系2 2の入射面、可動レチクルブラインド3 0 Bの配置面、レチクルRのパターン面は、光学的に互いに共役に設定され、フライアイレンズ系2 2の射出面側に形成される光源面、投影光学系P Lのフーリエ変換面（射出瞳面）は光学的に互いに共役に設定され、ケーラー照明系となっている。

このようにして構成された照明光学系1 2の作用を簡単に説明すると、光源装置1 6からパルス発光されたレーザビームL Bは、ビーム整形光学系1 8に入射して、ここで後方のフライアイレンズ系2 2に効率良く入射するようにその断面形状が整形された後、フライアイレンズ系2 2に入射する。これにより、フライアイレンズ系2 2の射出側焦点面（照明光学系1 2の瞳面）に2次光源が形成される。この2次光源から射出された露光光I Lは、照明系開口絞り板2 4上のいずれかの開口絞りを通過した後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ2 6に至る。このビームスプリッタ2 6を透過した露光光I Lは、第1リレーレンズ2 8 Aを経て固定レチクルブラインド3 0 Aの矩形の開口部及び可動レチクルブラインド3 0 Bを通過した後、第2リレーレンズ2 8 Bを通過してミラーMによって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ3 2を経て、レチクルステージR S T上に保持されたレチクルR上の

矩形の照明領域 4 2 R を均一な照度分布で照明する。

一方、ビームスプリッタ 2 6 で反射された露光光 I L は、集光レンズ 4 4 を介してインテグレータセンサ 4 6 で受光され、インテグレータセンサ 4 6 の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及び A/D 変換器を介して出力 D S (digit/pulse) として主制御装置 5 0 に供給される。このインテグレータセンサ 4 6 の出力 D S と、ウエハ W の表面上での露光光 I L の照度 (露光量) との相関係数は、予め求められ、主制御装置 5 0 に併設された記憶装置としてのメモリ 5 1 内に記憶されている。

また、レチクル R 上の照明領域 4 2 R を照明しそのレチクルのパターン面 (図 1 における下面) で反射された反射光束は、コンデンサレンズ 3 2、リレー光学系を前と逆向きに通過し、ビームスプリッタ 2 6 で反射され、集光レンズ 4 8 を介して反射光モニタ 4 7 で受光される。また、Z チルトステージ 5 8 が投影光学系 P L の下方にある場合には、レチクルのパターン面を透過した露光光 I L は、投影光学系 P L 及びウエハ W の表面 (あるいは後述する基準マーク板 F M 表面) で反射され、その反射光束は、投影光学系 P L、レチクル R、コンデンサレンズ 3 2、リレー光学系を前と逆向きに順次通過し、ビームスプリッタ 2 6 で反射され、集光レンズ 4 8 を介して反射光モニタ 4 7 で受光される。また、ビームスプリッタ 2 6 とウエハ W との間に配置される各光学素子はその表面に反射防止膜が形成されているものの、その表面で露光光 I L がわずかに反射され、これら反射光も反射光モニタ 4 7 で受光される。この反射光モニタ 4 7 の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及び A/D 変換器を介して主制御装置 5 0 に供給される。反射光モニタ 4 7 は、本実施形態では、主としてウエハ W の反射率の測定等に用いられる。なお、この反射光モニタ 4 7 を、レチクル R の透過率の事前測定の際に用いても良い。

なお、フライアイレンズ系として、例えば特開平 1-235289 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,307,207 号、特開平 7-142354

号公報及びこれに対応する米国特許第5, 534, 970号などに開示されるダブルフライアイレンズ系を採用し、ケーラー照明系を構成しても良い。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報並びにこれらに対応する上記各米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

また、フライアイレンズ系22とともに、回折光学素子(diffractive optical element)を用いても良い。かかる回折光学素子を用いる場合には、光源装置16と照明光学系12とを回折光学素子を介して接続するようにしても良い。

すなわち、バンドルファイバの各ファイバに対応して回折素子が形成される回折光学素子をビーム整形光学系18に設け、各ファイバから出力されるレーザビームを回折させて、フライアイレンズ系22の入射面上で重畳させるようにしても良い。本実施形態では、バンドルファイバの出力端を照明光学系の瞳面に配置しても良いが、この場合には第1の機能(間引き)によってその瞳面上での強度分布(即ち2次光源の形状や大きさなど)が変化することになり、レチクルパターンに最適な形状、大きさとは異なってしまふことがある。そこで、前述の回折光学素子などを用いて照明光学系の瞳面、又はオプティカルインテグレータの入射面上で各ファイバからのレーザビームを重畳させるようにすることが望ましい。

いずれにしても、本実施形態では、前述した光量制御装置16Cの第1の機能によりバンドルファイバ173の光を出力する部分の分布が変化した場合であっても、レチクルRのパターン面(物体面)上及びウエハWの面(像面)上のいずれにおいても照度分布の均一性を十分に確保することができる。

前記レチクルステージRST上にレチクルRが載置され、不図示のバキュームチャック等を介して吸着保持されている。レチクルステージRSTは、水平面(XY平面)内で微小駆動可能であるとともに、レチクルステージ駆動部49によって走査方向(ここでは図1の紙面左右方向であるY方向とする)に所

定ストローク範囲で走査されるようになっている。この走査中のレチクルステージ R S T の位置及び回転量は、レチクルステージ R S T 上に固定された移動鏡 5 2 R を介して外部のレーザ干渉計 5 4 R によって計測され、このレーザ干渉計 5 4 R の計測値が主制御装置 5 0 に供給されるようになっている。

なお、レチクル R に用いる材質は、露光光 I L の波長によって使い分ける必要がある。すなわち、波長 1 9 3 nm の露光光を用いる場合には合成石英を用いることができるが、波長 1 5 7 nm の露光光を用いる場合は、ホタル石、フッ素がドーブされた合成石英、あるいは水晶などで形成する必要がある。

前記投影光学系 P L は、例えば両側テレセントリックな縮小系であり、共通の Z 軸方向の光軸を有する複数枚のレンズエレメント 7 0 a、7 0 b、……から構成されている。また、この投影光学系 P L としては、投影倍率  $\beta$  が例えば  $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$  などのものが使用されている。このため、前記の如くして、露光光 I L によりレチクル R 上の照明領域 4 2 R が照明されると、そのレチクル R に形成されたパターンが投影光学系 P L によって投影倍率  $\beta$  で縮小された像が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハ W 上のスリット状の露光領域 4 2 W に投影され転写される。

本実施形態では、上記のレンズエレメントのうち、複数のレンズエレメントがそれぞれ独立に移動可能となっている。例えば、レチクルステージ R S T に最も近い一番上のレンズエレメント 7 0 a は、リング状の支持部材 7 2 により保持され、この支持部材 7 2 は、伸縮可能な駆動素子、例えばピエゾ素子 7 4 a、7 4 b、7 4 c（紙面奥側の駆動素子 7 4 c は図示せず）によって、3 点支持されるとともに鏡筒部 7 6 と連結されている。上記の駆動素子 7 4 a、7 4 b、7 4 c によって、レンズエレメント 7 0 a の周辺 3 点を独立に、投影光学系 P L の光軸 A X 方向に移動させることができるようになっている。すなわち、レンズエレメント 7 0 a を駆動素子 7 4 a、7 4 b、7 4 c の変位量に応じて光軸 A X に沿って平行移動させることができるとともに、光軸 A X と垂直



な平面に対して任意に傾斜させることもできる。そして、これらの駆動素子 74 a, 74 b, 74 c に与えられる電圧が、主制御装置 50 からの指令に基づいて結像特性補正コントローラ 78 によって制御され、これによって駆動素子 74 a, 74 b, 74 c の変位量が制御されるようになっている。なお、図 1 中、投影光学系 PL の光軸 AX とは鏡筒部 76 に固定されているレンズエレメント 70 b その他のレンズエレメント（図示省略）の光軸を指す。

また、本実施形態では、予め実験によりレンズエレメント 70 a の上下量と倍率（又はディストーション）の変化量との関係を求めておき、これを例えばメモリ 51 に記憶しておき、補正時に主制御装置 50 が補正する倍率（又はディストーション）からレンズエレメント 70 a の上下量を計算し、結像特性補正コントローラ 78 に指示を与えて駆動素子 74 a, 74 b, 74 c を駆動することにより倍率（又はディストーション）補正を行うようになっている。すなわち、本実施形態では、結像特性補正コントローラ 78、駆動素子 74 a, 74 b, 74 c、及び主制御装置 50 によって、投影光学系 PL の結像特性を補正する結像特性補正装置が構成されている。

なお、前記レンズエレメント 70 a の上下量と倍率等の変化量との関係は光学的な計算値を用いてもよく、この場合は前記レンズエレメント 70 a の上下量と倍率変化量との関係を求める実験の工程が省けることになる。

前記の如く、レチクル R に最も近いレンズエレメント 70 a が移動可能となっているが、このエレメント 70 a は倍率、ディストーション特性に与える影響が他のレンズエレメントに比べて大きく制御しやすいものの 1 つを選択したものであって、同様の条件を満たすものであれば、このレンズエレメント 70 a に代えてどのレンズエレメントをレンズ間隔調整のために移動可能に構成しても良い。

なお、レンズエレメント 70 a 以外の少なくとも 1 つのレンズエレメントを移動して他の光学特性、例えば像面湾曲、非点収差、コマ収差、又は球面収差

などを調整できるようになっている。この他、投影光学系 P L の光軸方向中央部近傍の特定のレンズエレメント相互間に密封室を設け、この密封室内の気体の圧力を例えばベローズポンプ等の圧力調整機構により調整することにより、投影光学系 P L の倍率を調整する結像特性補正機構を設けても良く、あるいは、例えば、投影光学系 P L を構成する一部のレンズエレメントとして非球面状レンズを用い、これを回転させるようにしても良い。この場合には、いわゆるひし形ディストーションの補正が可能になる。あるいは、投影光学系 P L 内に平行平板を設け、これをチルトさせたり、回転させたりするような機構により結像特性補正機構を構成しても良い。

なお、露光光 I L として波長 193 nm のレーザ光を用いる場合には、投影光学系 P L を構成する各レンズエレメント（及び上記平行平板）としては合成石英やホタル石等を用いることができるが、波長 157 nm のレーザ光を用いる場合には、この投影光学系 P L に使用されるレンズ等の材質は、全てホタル石が用いられる。

また、本実施形態では、チャンバ 11 内の大気圧を測定する大気圧センサ 77 が設けられている。この大気圧センサ 77 の計測値は、主制御装置 50 に供給されるようになっており、主制御装置 50 では、この大気圧センサ 77 の計測値に基づいて、標準大気圧からの気圧の変動を算出するとともに、投影光学系 P L の結像特性の大気圧変動を算出する。そして、この大気圧変動分を考慮して結像特性補正コントローラ 78 に指示を与えて、投影光学系 P L の結像特性を補正する。

なお、上記の発振波長の変更は、主制御装置 50 から指示に基づき、レーザ制御装置 16 B がビームモニタ機構 164 を構成するエタロン素子の温度を積極的に制御して、エタロン素子の透過率が最大となる共鳴波長（検出基準波長）が一致している設定波長（目標波長）を変更すると共に、この変更後の設定波長に DFB 半導体レーザ 160 A の発振波長が一致するように、DFB 半導体

レーザ 160A の温度をフィードバック制御することにより容易に達成される。

なお、主制御装置 50 による結像特性の大気圧変動分、照射変動分等の演算方法等については、例えば特開平 9-213619 号公報等に詳細に開示されており、公知であるから、ここでは詳細な説明は省略する。

前記 XY ステージ 14 は、ウエハステージ駆動部 56 によって走査方向である Y 方向及びこれに直交する X 方向（図 1 における紙面直交方向）に 2 次元駆動されるようになっている。この XY ステージ 14 上に搭載された Z チルトステージ 58 上に不図示のウエハホルダを介してウエハ W が真空吸着等により保持されている。Z チルトステージ 58 は、例えば 3 つのアクチュエータ（ピエゾ素子又はボイスコイルモータなど）によってウエハ W の Z 方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、XY 平面（投影光学系 PL の像面）に対するウエハ W の傾斜角を調整する機能を有する。また、XY ステージ 14 の位置は、Z チルトステージ 58 上に固定された移動鏡 52W を介して外部のレーザ干渉計 54W により計測され、このレーザ干渉計 54W の計測値が主制御装置 50 に供給されるようになっている。

ここで、移動鏡は、実際には、X 軸に垂直な反射面を有する X 移動鏡と Y 軸に垂直な反射面を有する Y 移動鏡とが存在し、これに対応してレーザ干渉計も X 軸位置計測用、Y 軸位置計測用、及び回転（ヨーイング量、ピッチング量、ローリング量を含む）計測用のものがそれぞれ設けられているが、図 1 では、これらが代表的に、移動鏡 52W、レーザ干渉計 54W として示されている。

また、Z チルトステージ 58 上には、ウエハ W の近傍に、ウエハ W の露光面と同じ高さの受光面を有し、投影光学系 PL を通過した露光光 IL の光量を検出するための照射量モニタ 59 が設けられている。照射量モニタ 59 は、露光領域 42W より一回り大きな X 方向に延びる平面視長方形のハウジングを有し、このハウジングの中央部に露光領域 42W とほぼ同じ形状のスリット状の開口が形成されている。この開口は、実際にはハウジングの天井面を形成する合成

石英等から成る受光ガラスの上面に形成された遮光膜の一部が取り除かれて形成されている。前記開口の真下にレンズを介してS i系P I N型フォトダイオード等の受光素子を有する光センサが配置されている。

照射量モニタ59は、露光領域42Wに照射される露光光I Lの強度測定に用いられる。照射量モニタ59を構成する受光素子の受光量に応じた光量信号が主制御装置50に供給されるようになっている。

なお、光センサは、必ずしもZチルトステージ58の内部に設ける必要はなく、Zチルトステージ58の外部に光センサを配置し、リレー光学系でリレーされた照明光束を光ファイバ等を介してその光センサに導くようにしても良いことは勿論である。

Zチルトステージ58上には、後述するレチクルアライメント等を行う際に使用される基準マーク板F Mが設けられている。この基準マーク板F Mは、その表面がウエハWの表面とほぼ同一の高さとされている。この基準マーク板F Mの表面には、レチクルアライメント用基準マーク、ベースライン計測用基準マーク等の基準マークが形成されている。

また、図1では図面の錯綜を避ける観点から図示が省略されているが、この露光装置10は、実際にはレチクルアライメントを行うためのレチクルアライメント系を備えている。

レチクルRのアライメントを行う場合には、まず主制御装置50によりレチクルステージ駆動部49、ウエハステージ駆動部56を介してレチクルステージR S T及びX Yステージ14が駆動され、矩形の露光領域42W内に基準マーク板F M上のレチクルアライメント用基準マークが設定され、その基準マークにレチクルR上のレチクルマーク像がほぼ重なるようにレチクルRとZチルトステージ58との相対位置が設定される。この状態で、主制御装置50によりレチクルアライメント系を用いて両マークが撮像され、主制御装置50では、その撮像信号を処理して対応する基準マークに対するレチクルマークの投影像

のX方向、Y方向の位置ずれ量を算出する。

また、上記のレチクルのアライメントの結果得られた基準マークの投影像の検出信号（画像信号）に含まれるコントラスト情報に基づいてフォーカスオフセットやレベリングオフセット（投影光学系PLの焦点位置、像面傾斜など）を求めることも可能である。

また、本実施形態では、上記のレチクルアライメント時に、主制御装置50によって、投影光学系PLの側面に設けられた不図示のウエハ側のオフアキシス・アライメントセンサのベースライン量の計測も行われる。すなわち、基準マーク板FM上には、レチクルアライメント用基準マークに対して所定の位置関係でベースライン計測用基準マークが形成されており、レチクルアライメント系を介してレチクルマークの位置ずれ量を計測する際に、そのウエハ側のアライメントセンサを介してベースライン計測用基準マークのそのアライメントセンサの検出中心に対する位置ずれ量を計測することで、アライメントセンサのベースライン量、すなわちレチクル投影位置とアライメントセンサとの相対位置関係が計測される。

更に、本実施形態の露光装置10では、図1に示されるように、主制御装置50によってオン・オフが制御される光源を有し、投影光学系PLの結像面に向けて多数のピンホールまたはスリットの像を形成するための結像光束を、光軸AXに対して斜め方向より照射する照射光学系60aと、それらの結像光束のウエハW表面での反射光束を受光する受光光学系60bとからなる斜入射光式の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）が設けられている。主制御装置50では、受光光学系60b内の図示しない平行平板の反射光束の光軸に対する傾きを制御することにより、投影光学系PLのフォーカス変動に応じて焦点検出系（60a、60b）にオフセットを与えてそのキャリブレーションを行う。これにより、前述の露光領域42W内で投影光学系PLの像面とウエハWの表面とがその焦点深度の範囲（幅）内で合致することになる。なお、本実施

形態と同様の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）の詳細な構成は、例えば特開平 6-283403 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,448,332 号等の開示されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

走査露光時等に、主制御装置 50 では、受光光学系 60 b からの焦点ずれ信号（デフォーカス信号）、例えば S カーブ信号に基づいて焦点ずれが零となるように Z チルトステージ 58 の Z 位置を不図示の駆動系を介して制御することにより、オートフォーカス（自動焦点合わせ）及びオートレベリングを実行する。

なお、受光光学系 60 b 内に平行平板を設けて焦点検出系（60 a, 60 b）にオフセットを与えるようにしたのは、例えば、倍率補正のためにレンズエレメント 70 a を上下することによりフォーカスも変化し、また、投影光学系 P L が露光光 I L を吸収することにより結像特性が変化して結像面の位置が変動するので、かかる場合に焦点検出系にオフセットを与え、焦点検出系の合焦位置を投影光学系 P L の結像面の位置に一致させる必要があるためである。このため、本実施形態では、レンズエレメント 70 a の上下量とフォーカス変化量の関係も予め実験により求め、例えばメモリ 51 に記憶している。なお、レンズエレメント 70 a の上下量とフォーカス変化量の関係は計算値を用いても良い。また、オートレベリングでは走査方向については行わず、その走査方向と直交する非走査方向のみに関して行うようにしても良い。

前記主制御装置 50 は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダム・アクセス・メモリ）等から成るいわゆるマイクロコンピュータ（又はワークステーション）を含んで構成され、これまでに説明した各種の制御を行う他、露光動作が的確に行われるように、例えばレチクル R とウエハ W の同期走査、ウエハ W のステッピング、露光タイミング等を制御する。また、本実施形態では、主制御装置 50 は、後述するように走査露

光の際の露光量の制御を行ったり、投影光学系 P L の結像特性の変動量を演算にて算出し、その算出結果に基づいて結像特性補正コントローラ 7 8 を介して投影光学系 P L の結像特性を調整する等の他、装置全体を統括制御する。

具体的には、主制御装置 5 0 は、例えば走査露光時には、レチクル R がレチクルステージ R S T を介して + Y 方向（又は - Y 方向）に速度  $V_R = V$  で走査されるのに同期して、X Y ステージ 1 4 を介してウエハ W が露光領域 4 2 W に対して - Y 方向（又は + Y 方向）に速度  $V_W = \beta \cdot V$ （ $\beta$  はレチクル R からウエハ W に対する投影倍率）で走査されるように、レーザ干渉計 5 4 R、5 4 W の計測値に基づいてレチクルステージ駆動部 4 9、ウエハステージ駆動部 5 6 をそれぞれ介してレチクルステージ R S T、X Y ステージ 1 4 の位置及び速度をそれぞれ制御する。また、ステッピングの際には、主制御装置 5 0 ではレーザ干渉計 5 4 W の計測値に基づいてウエハステージ駆動部 5 6 を介して X Y ステージ 1 4 の位置を制御する。

次に、本実施形態の露光装置 1 0 において所定枚数（N 枚）のウエハ W 上にレチクルパターンの露光を行う場合の露光シーケンスについて主制御装置 5 0 の制御動作を中心として説明する。

まず、前提条件について説明する。

① オペレータによりコンソール等の入出力装置 6 2（図 1 参照）から入力されたショット配列、ショットサイズ、各ショットの露光順序その他の必要なデータに基づいて、予めショットマップデータ（各ショット領域の露光順序と走査方向とを定めたデータ）が作成され、メモリ 5 1（図 1 参照）内に格納されているものとする。

② また、インテグレータセンサ 4 6 の出力は、Z チルトステージ 5 8 上で像面（即ち、ウエハの表面）と同じ高さに設置された不図示の基準照度計の出力に対して予め較正（キャリブレーション）されているものとする。インテグレータセンサ 4 6 の較正とは、インテグレータセンサ 4 6 の出力を、像面上の露

光量に変換するための変換係数（或いは変換関数）を得ることである。この変換係数を用いると、インテグレータセンサ 4 6 の出力より間接的に像面上に与えられている露光量（エネルギー）を計測できることになる。

③ また、上記キャリブレーションが完了したインテグレータセンサ 4 6 の出力に対して、ビームモニタ機構 1 6 4 内のエネルギーモニタ、光増幅部 1 6 1 内の光電変換素子 1 8 0、1 8 1 及び波長変換部 1 6 3 内の光電変換素子 1 8 2 等の出力もキャリブレーションされ、インテグレータセンサ 4 6 の出力に対する各センサ出力の相関係数も予め求められ、メモリ 5 1 内に格納されている。

④ さらに、上記キャリブレーションが完了したインテグレータセンサ 4 6 の出力に対して反射光モニタ 4 7 の出力がキャリブレーションされ、インテグレータセンサ 4 6 の出力と反射光モニタ 4 7 の出力との相関係数が予め求められてメモリ 5 1 内に格納されているものとする。

まず、オペレータによりコンソール等の入出力装置 6 2（図 1 参照）から照明条件（投影光学系の開口数  $N.A.$ 、2 次光源の形状（開口絞り 2 4 の種類）、コヒーレンスファクタ  $\sigma$  やレチクルパターンの種類（コンタクトホール、ラインアンドスペース等）、レチクルの種類（位相差レチクル、ハーフトーンレチクル等）、及び最小線幅又は露光量許容誤差など）を含む露光条件が入力され、この入力に応じて、主制御装置 5 0 が、投影光学系 P L の不図示の開口絞りの設定、照明系開口絞り板 2 4 の開口の選択設定、レジスト感度に応じた目標積算露光量（設定光量に対応する量である）の設定等を行う。このとき、同時に主制御装置 5 0 では、目標積算露光量を得るための光源装置 1 6 からの出力光量を設定光量にほぼ一致させるための、バンドルファイバ 1 7 3 の出力をオン、及びオフにすべきチャンネルの選択を行い、この選択指令を光量制御装置 1 6 C に与える。これにより、後述する走査露光の際にレーザ光源 1 6 0 A の発光とほぼ同時に、光量制御装置 1 6 C により、前述した第 1 の機能により選択指令に応じて各チャンネルのファイバ増幅器 1 7 1<sub>n</sub> のオン・オフが実行され、露光量



の粗調整が実行されることとなる。

次に、主制御装置 50 では、不図示のレチクルローダを用いて露光対象のレチクル R をレチクルステージ R S T 上にロードする。

次いで、前述した如く、レチクルアライメント系を用いてレチクルアライメントを行うとともに、ベースライン計測を行う。

次に、主制御装置 50 では、不図示のウエハ搬送系にウエハ W の交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及び X Y ステージ 14 上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換（ステージ上にウエハが無い場合は、単なるウエハロード）が行われ、次いで特開平 9-186061 号公報及び特開平 9-36202 号公報並びにこれらに対応する米国特許出願番号 08/678788 号等の開示されるいわゆるサーチアライメント及びファインアライメント（例えば、特開昭 61-44429 号公報及びこれに対応する米国特許第 4,780,617 号等）の開示される最小 2 乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハ W 上の全てのショット領域の配列座標を求めるエンハンスト・グローバル・アライメント（EGA）等）の一連のアライメント工程の処理を行う。これらのウエハ交換、ウエハアライメントは、公知の露光装置と同様に行われる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報並びにこれらに対応する米国特許出願及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

次に、上記のアライメント結果及びショットマップデータに基づいて、ウエハ W 上の各ショット領域の露光のための走査開始位置にウエハ W を移動させる動作と、前述した走査露光動作とを繰り返し行って、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハ W 上の複数のショット領域にレチクルパターンを転写する。この走査露光中に、主制御装置 50 では、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウエハ W に与えるため、インテグレータセンサ 46 の出力をモニタしつつ光量制御装置 16 C に指令を与える。これにより、光

量制御装置 16C では、前述した第 1 の機能により露光量の粗調整を行うとともに、前述した第 2 の機能、第 3 の機能により、光源装置 16 からのレーザビーム（紫外パルス光）の周波数及びピークパワーを制御し、露光量の微調整を実行する。

また、主制御装置 50 では、照明系開口絞り板 24 を駆動装置 40 を介して制御し、更にステージ系の動作情報に同期して可動レチクルブラインド 30B の開閉動作を制御する。

1 枚目のウエハ W に対する露光が終了すると、主制御装置 50 では、不図示のウエハ搬送系にウエハ W の交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及び XY ステージ 14 上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換が行われ、以後上記と同様にしてその交換後のウエハに対してサーチアライメント、ファインアライメントを行う。また、この場合、主制御装置 50 により 1 枚目のウエハ W に対する露光開始からの投影光学系 PL の結像特性（フォーカスの変動を含む）の照射変動が、インテグレートセンサ 46 及び反射光モニタ 47 の計測値に基づいて求められ、この照射変動を補正するような指令値を結像特性補正コントローラ 78 に与えると同時に受光光学系 60b にオフセットを与える。また、主制御装置 50 では、大気圧センサ 77 の計測値に基づいて、投影光学系 PL の結像特性の大気圧変動分も求めて、この照射変動を補正するような指令値を結像特性補正コントローラ 78 に与えると同時に受光光学系 60b にオフセットを与える。

そして、上記と同様に、このウエハ W 上の複数のショット領域にステップ・アンド・スキャン方式でレチクルパターンを転写する。そして、この 2 枚目のウエハの露光が終了すると、以後、上記と同様にして、ウエハ交換、ステップ・アンド・スキャン方式の露光が順次繰り返し行われる。

ところで、上記の N 枚のウエハ W に対する露光を行う際に、主制御装置 50 では、ビームモニタ機構 164 のモニタ結果に基づいてレーザ制御装置 16B

を介してレーザ光源 160A の発振波長を設定波長に安定的に維持するようなフィードバック制御を行っている。このため、波長変動による投影光学系 PL の収差（結像特性）の発生、又はその変動が防止され、パターン転写中にその像特性（像質などの光学的特性）が変化することがない。

この一方、主制御装置 50 では、結像特性補正コントローラ 44 に指示を与えて駆動素子 74a, 74b, 74c を駆動して投影光学系 PL の上記の大気圧変動分を含む環境変動分を補正する代わりに、1 枚目のウエハ W の露光が開始されてから所定のタイミング毎に、環境センサ 77 の計測値に基づいて標準状態からの気圧、温度、湿度等の変化を求め、その気圧、温度、湿度等の変化に起因する投影光学系 PL の結像特性の環境変動分をほぼ相殺するための波長変更量を計算で求め、該波長変更量に応じてレーザ光源 160A の発振波長を積極的に変更することとしても良い。なお、環境センサ 77 は、大気圧を検出するセンサであっても良い。

かかる発振波長の変更は、主制御装置 50 から指示に基づき、レーザ制御装置 16B がビームモニタ機構 164 を構成するエタロン素子の温度を積極的に制御して、エタロン素子の透過率が最大となる共鳴波長（検出基準波長）が一致している設定波長（目標波長）を変更すると共に、この変更後の設定波長に DFB 半導体レーザ 160A の発振波長が一致するように、DFB 半導体レーザ 160A の温度をフィードバック制御することにより容易に達成される。

これにより、露光装置 10 の稼働中に、大気圧、温度、湿度などの変化に起因して生じる投影光学系 PL の収差、投影倍率、及び焦点位置などの結像特性の変動を同時に相殺することができる。すなわち、この DFB 半導体レーザ 160A の発振波長の変更により、あたかも標準状態からの環境の変動がなかったかのような状態（即ち、光学性能の変動量が相殺された状態）にすることができる。

このような波長変更、より具体的には、設定波長の変更、及びこの変更後の

設定波長を基準とするレーザ光源 160 A の発振波長の安定化制御は次のような場合に行われる。

例えば大気圧を採り上げて説明すると、通常、標準大気圧は、露光装置が設置される納入先（工場など）の平均大気圧に設定されることが多い。従って、露光装置を製造する組立地と、露光装置が設置される納入先（移設地）との標高差があるときは、例えば標準大気圧（平均大気圧など）下に投影光学系などが設置されているかのように、組立地ではその標高差に対応する波長だけ露光波長をシフトさせた上で投影光学系などの調整を行い、移設地ではその波長を露光波長に戻す、あるいは組立地では露光波長のもとで投影光学系などの調整を行い、移設地でその標高差を相殺するように露光波長をシフトさせる。他の環境条件、すなわち温度、湿度等についても同様のことが言える。これにより、組み立て地と納入先との標高差や気圧差、更には環境（クリーンルーム内の雰囲気）の違いなどに応じて生じる投影光学系 PL の結像特性（収差など）の変動を相殺でき、納入先で露光装置の立ち上げに要する時間を短縮することが可能になる。さらに、露光装置の稼働中に、大気圧変化などに起因して生じる投影光学系 PL の収差、投影倍率、及び焦点位置などの変動も相殺でき、常に最良の結像状態でパターン像を基板上に転写することが可能となる。

このように、本実施形態では、例えば投影光学系によって照明光の波長を変更することと、その投影光学系の設置環境（周囲の気体の圧力、温度、湿度など）を変更することは実質的に等価であることを利用している。このとき、投影光学系の屈折素子の硝材の種類が単一であるときには、その等価性が完全に成立し、硝材が複数種類であってもその等価性はほぼ成立する。従って、設置環境に対する投影光学系（特に屈折素子）の屈折率の変化特性を用いて、照明光の波長のみを変化させることによって、実質的に投影光学系の設置環境が変化した場合と等価な状態を実現することができる。

なお、標準大気圧は任意で良いが、例えば投影光学系などの光学性能が最良

となるようにその調整を行うときの基準となる大気圧であることが望ましく、この場合には、標準大気圧では投影光学系などの光学性能の変動量が零となる。

また、投影光学系 P L が空気以外の雰囲気中に設置される場合、大気圧とは、投影光学系 P L の周囲の雰囲気（気体）の圧力となる。すなわち、本明細書において、大気圧とは通常の意味、すなわち大気（空気）の圧力より広く、雰囲気気体の圧力を含む。

なお、主制御装置 5 0 では、上記の波長の変更によりキャンセルできない投影光学系 P L の結像特性の環境変動分がある場合には、主制御装置 5 0 では、前記設定波長の変更の度毎に、結像特性補正コントローラ 7 8 を介して駆動素子 7 4 a、7 4 b、7 4 c を駆動して設定波長の変更により補正される投影光学系 P L の環境変動分を除く、結像特性変動を補正する。これにより、投影光学系 P L の結像特性の環境変動分の大部分が上記の設定波長の変更により補正され、投影光学系 P L の残りの環境変動分、照射変動分等が、結像特性補正コントローラ 7 8 による駆動素子 7 4 a、7 4 b、7 4 c の駆動により補正される。この結果、投影光学系 P L の結像特性をほぼ完全に補正した状態で高精度な露光が行われる。

更に、主制御装置 5 0 は、前記設定波長の変更間では、環境変動を考慮して結像特性変動を補正することとしても良い。設定波長の変更は上述した所定のタイミングで行われるが、この設定波長の変更間隔が長いと、その間で気圧、温度、湿度等の変動が生じるが、このような場合にもそれらに起因する投影光学系の結像特性の変動分を補正することができる。

ここで、前記所定のタイミングは、所定枚数のウエハ W の露光終了毎のタイミングであっても良く、ウエハ W 上の 1 ショットの露光終了の度毎のタイミングであっても良い。ここで、所定枚数は 1 枚であっても良く、1 ロットに相当する枚数であっても良い。

あるいは、前記所定のタイミングは、露光条件の変更の度毎のタイミングで

あっても良い。また、露光条件の変更とは、照明条件の変更の他、レチクルの交換等の広い意味での露光に関する条件が変更された場合の全てを含む。例えば、いわゆる二重露光時のレチクル交換や照明系開口絞りの変更と並行して波長の変更を行えば、時間ロスが殆どないので、スループットの低下を防止することができる。

あるいは、所定のタイミングは、環境センサ 77 の計測値に基づいて得られる大気圧等の物理量の変化が所定量以上変化したタイミングであっても良く、あるいは投影光学系 PL の光学性能を演算する間隔（例えば数  $\mu$  s）に合わせて、ほぼリアルタイムで行っても良い。あるいは所定のタイミングは、予め定められた所定時間毎のタイミングであっても良い。

更に、照射変動分の補正をも含めてレーザ光の波長変更により対処することも可能である。このとき、複数の代表的な波長毎に実験又はシミュレーションにて照射変動モデルを求めておくといよい。ここで、変更された波長が、照射変動モデルを求めた波長の間である場合は、例えば補間計算などによって結像特性又はその変動量を算出することが望ましい。

また、波長シフトによってウエハ W 上に塗布されるレジスト（感光剤）の感度特性が変化することがあり、この場合、主制御装置 50 では、その感度特性の変化に応じて後述する積算露光のパラメータ、すなわち走査速度、照明領域の幅、照明光の強度、及び発振周波数の少なくとも 1 つを変更することにより露光量を制御することが望ましい。なお、複数の代表的な波長に対応して実験又はシミュレーションにてレジストの感度特性を求めておくといよく、さらに変更された波長が、感度特性を求めた波長の間であるときは、例えば補間計算などによってその感度特性を算出することが望ましい。

なお、前述した露光量（光量）の粗調整を、実露光前にテスト発光を行い、露光量設定値に対し、1 % 以下の精度で制御を確実に行うようにしても良い。

本実施形態の露光量の粗調整のダイナミックレンジは、 $1 \sim 1/128$  の範

圈内で設定可能であるが、通常要求されるダイナミックレンジは、典型的には  $1 \sim 1/7$  程度であるため、光出力をオンにすべきチャネル数（光ファイバ数）を  $128 \sim 18$  の間で制御することによって行えば良い。このように、本実施形態では、各チャネルの光出力の個別オン・オフによる露光量制御により、ウエハ毎のレジスト感度等の違いにあわせた露光量の粗調整を正確に行うことができる。

従って、本実施形態では、従来のエキシマレーザ露光装置に用いられていた ND フィルタ等のエネルギー粗調器が不要となる。

また、上述した光量制御装置 16 C による、第 2、第 3 の機能による光量制御は、制御速度が速く、制御精度が高いという特徴を持つため、以下の現状の露光装置に要求されている制御要請を確実に満たすことが可能である。

すなわち、同一ウエハ内における、例えばレジストの膜厚のばらつきに起因して生じる、ショット領域（チップ毎）のプロセスばらつきを補正する露光量制御のための要請である、ダイナミックレンジが設定露光量の  $\pm 10\%$  程度、ショット間ステッピング時間である  $100\text{ms}$  程度の時間内に設定値に制御すること、制御精度として設定露光量の  $\pm 1\%$  程度、1 ショット領域の線幅均一性を実現するための露光制御のための要請である、制御精度として典型的には 1 ショットの露光時間である  $20\text{ms}$  程度の時間内に設定露光量の  $\pm 0.2\%$  に設定すること、制御速度  $1\text{ms}$  程度、の全てを満たす。

従って、露光量制御のためには、光量制御装置 16 C では、第 2、第 3 の機能による光量制御の少なくとも一方を行えば足りる。

また、本実施形態の露光装置 10 のようなレーザ光源（パルス光源）を有する走査型露光装置では、ウエハ W の走査速度（スキャン速度）を  $V_s$ 、ウエハ W 上のスリット状の露光領域  $42W$  の走査方向の幅（スリット幅）を  $D$ 、レーザ光源のパルスの繰り返し周波数を  $F$  とすると、パルス発光間にウエハ W が移動する間隔は  $V_s/F$  であるため、ウエハ上の 1 点あたりに照射すべき露光光量  $I_L$

のパルス数（露光パルス数） $N$ は次式（３）で表される。

$$N = D / (V_{\text{w}} / F) \quad \dots\dots (3)$$

パルスエネルギーを $P$ とすると、単位時間にウエハ上の１点あたりに与えられるべきエネルギーは、次式（４）で表される。

$$E = NP = PD / (V_{\text{w}} / F) \quad \dots\dots (4)$$

従って、走査型露光装置では、スリット幅 $D$ 、スキャン速度 $V_{\text{w}}$ 、レーザ光源のパルスの繰り返し周波数 $F$ 、パルスエネルギー $P$ のいずれかを制御することにより、露光量（積算露光量）の制御が可能である。応答速度の問題から走査露光中にスリット幅 $D$ を調整することには難点があるので、スキャン速度 $V_{\text{w}}$ 、レーザ光源のパルスの繰り返し周波数 $F$ 、パルスエネルギー $P$ のいずれかを制御すれば良い。

従って、本実施形態の露光装置１０においても、光量制御装置１６Ｃの第２、第３の機能による光量制御のいずれかと、スキャン速度とを組み合わせ、露光量を制御するようにしても、勿論良い。

例えば、ウエハ $W$ 上に転写すべきレチクルパターンに応じてウエハ $W$ の露光条件を変更する、例えば照明光学系の瞳面上での照明光の強度分布（即ち２次光源の形状や大きさ）を変化させたり、あるいは投影光学系 $PL$ のほぼ瞳面上でその光軸を中心とする円形領域を遮光する光学フィルタを挿脱する。この露光条件の変更によってウエハ $W$ 上での照度が変化するが、このことはレチクルパターンの変更によっても生じる。これは、パターンの遮光部（又は透過部）の占有面積の違いによるものである。そこで、露光条件及びレチクルパターンの少なくとも一方の変更によって照度が変化するとき、ウエハ（レジスト）に適正な露光量が与えられるように、前述した周波数とピークパワーとの少なくとも一方を制御することが望ましい。このとき、周波数及びピークパワーの少なくとも一方に加えてレチクル及びウエハの走査速度を調整するようにしても良い。



これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、主制御装置 50 によって、第 1 の制御装置、第 2 の制御装置、第 3 の制御装置のすべてが実現されているが、これらの制御装置を別々の制御装置によって構成しても良いことは勿論である。

以上説明した本実施形態の光量制御装置 16 C は、前述の如く、光経路からの光出力の個別オン・オフによる光量制御機能（第 1 の機能）と、EOM 160 C から出力されるパルス光の周波数制御による光量制御機能（第 2 の機能）と、EOM 160 C から出力されるパルス光のピークパワー制御による光量制御機能（第 3 の機能）とを有しているので、第 1 の機能と、第 2 の機能及び第 3 の機能の少なくとも一方とにより、光経路 172<sub>0</sub> の光出力の個別オン・オフによる段階的な光量制御に加えて、各段階間の光量の微調整が EOM 160 C から出力されるパルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方の制御により可能になるので、結果的に光量の連続制御が可能となり、所定範囲内であれば設定光量が如何なる値に設定されても、出力光の光量をその設定光量に一致させることが可能になっている。

また、光量制御装置 16 C では、第 2 の機能と第 3 の機能とにより、EOM 160 C から出力されるパルス光の周波数制御に加えてピークパワーを更に制御することができるので、パルス光のピークパワーに変動があるような場合であっても、精度の良い光量制御が可能となる。

しかしながら、本発明がこれに限定されるものではなく、本発明に係る光源装置を構成する光量制御装置は、上記第 1 ～第 3 の機能の少なくとも一つのみを有していても良い。

本実施形態に係る露光装置 10 によると、主制御装置 50 では、露光に先立って、前述した絶対波長キャリブレーション、及びそれに続く設定波長キャリブレーションを行い、露光中は、その設定波長キャリブレーションが終了したビームモニタ機構のモニタ結果に基づいてレーザ制御装置 16 B を介してレー

ザ光源 160A の温度及び電流をフィードバック制御する。すなわち、主制御装置 50 では、設定波長キャリブレーションが終了したビームモニタ機構 164 のモニタ結果に基づいてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御を行いつつ、レーザ光をレチクル R に照射して該レチクル R のパターンを投影光学系 PL を介してウエハ W に転写するので、雰囲気温度変動等の影響の少ない高精度な露光が可能になる。

また、露光装置 10 によると、主制御装置 50 が、ウエハ W の露光が開始されてから前述した所定のタイミング毎に、環境センサ 77 の計測値に基づいて標準状態からの環境（気圧、温度、湿度等）の変化に起因する投影光学系 PL の結像特性の変動分をほぼ相殺するための波長変更量を計算で求め、該波長変更量に応じて設定波長を変更する。この結果、投影光学系 PL の諸収差が同時に補正され、主制御装置 50 では、その変更後の設定波長を基準としてビームモニタ機構 164 を用いてレーザ光の中心波長を所定の設定波長に確実に維持するような波長安定化制御を行いつつ、レーザ光をレチクル R に照射して露光、すなわち、レチクルパターンの投影光学系 PL を介したウエハ W 上への転写を行う。この場合、結果的に環境の変動が存在しなかったかのような状態（すなわち、光学性能の変動が相殺された状態）で、精度良く露光が行われることとなる。

また、本実施形態の露光装置 10 では、主制御装置 50 が、前記設定波長の変更の度毎に、結像特性補正コントローラ 78 を介して駆動素子 74a、74b、74c を駆動して設定波長の変更により補正される投影光学系 PL の環境変動分を除く、結像特性変動を補正する。これにより、投影光学系 PL の結像特性の環境変動分の大部分が上記の設定波長の変更により補正され、投影光学系 PL の残りの環境変動分、照射変動分、温度変動分等が、結像特性補正コントローラ 78 による駆動素子 74a、74b、74c の駆動により補正される。この結果、投影光学系 PL の結像特性をほぼ完全に補正した状態で高精度な露

光が行われる。

なお、上記実施形態では、レーザ光源 160A の発振波長の制御のため、レーザ光源 160A の直後でそのレーザ光をビームモニタ機構 164 によりモニタするものとしたが、これに限らず、例えば図 5 中に点線で示されるように、波長変換部 163 内（あるいは波長変換部 163 の後方）で光束を分岐して、これをビームモニタ機構 164 と同様のビームモニタ機構 183 でモニタするようにしても良い。そして、このビームモニタ機構 183 によるモニタ結果に基づいて、波長変換が正確に行われているか否かを検出し、この検出結果に基づいて主制御装置 50 がレーザ制御装置 16B をフィードバック制御するようにしても良い。勿論、両方のビームモニタ機構のモニタ結果を用いてレーザ光源 160A の発振波長制御を行っても良い。さらに、前述した投影光学系 PL の環境（例えば大気圧を少なくとも含む）変動分を補正するための設定波長の変更の際に、ビームモニタ機構 183 を構成するエタロン素子の検出基準波長をその設定波長に変更することとしても良い。

なお、上記実施形態中で説明した波長検出装置の共鳴波長温度依存性の代わりに、波長検出装置を構成するファブリペロー・エタロンの共振器長をピエゾ素子などで可変にし、共鳴波長の共振器長依存性を使用するようにしても良い。これにより高速で波長を変更することが可能となる。

なお、上記実施形態では、各光経路（各チャンネル）からの光出力をオン・オフする際に、ファイバ増幅器の励起光の強度を切り換えることにより行う場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではなく、例えば、各光経路に対する入射光を遮光する機械的又は電気的なシャッタ、あるいは各光経路からの光の出射を阻止する機械的又は電気的なシャッタを設ける等種々考えられる。

また、上記実施形態では、光増幅部 161 が 128 チャンネルの光経路を有する場合について説明したが、光増幅部は 1 チャンネルであっても良く、かかる場

合であっても、前述したEOM等の光変調器から出力されるパルス光の周波数制御、ピークパワー制御による光量、露光量の制御は好適に適用できる。

なお、上記実施形態では、偏光調整装置16Dが光ファイバ増幅器171<sub>n</sub>の射出光を円偏光に調整しているが、偏光調整が互いに同様な楕円偏光化にとどまる場合には、四分の一波長板162に替えて、偏波面を回転する二分の一波長板と、該二分の一波長板と光学的に直列接続された四分の一波長板との組み合わせを使用することにより、光ファイバ増幅器171<sub>n</sub>から射出された複数の光束を同一の偏光方向の直線偏光に変換することができる。ここで、二分の一波長板と四分の一波長板との直列接続において、どちらを上流側に配置してもよい。

また、上記実施形態では、四分の一波長板162に入射する光は、光ファイバ増幅器171<sub>n</sub>の射出光としたが、複数の光導波用の光ファイバから射出された複数の光束を四分の一波長板162に入射させることにしてもよい。

また、上記実施形態では、光増幅部161が128チャンネルの光経路を有し、これらの光経路の出射端部を構成する128本の光ファイバによってバンドルファイバが構成される場合について説明したが、光経路の本数、従ってバンドルファイバを形成するファイバの本数は任意でよく、本発明に係る光源装置が適用される製品、例えば露光装置で要求される仕様（ウエハ上での照度）、及び光学性能、すなわち照明光学系や投影光学系の透過率、波長変換部の変換効率、及び各光経路の出力などに応じてその本数を決定すればよい。かかる場合であっても、前述した光変調器から出力されるパルス光の周波数制御、ピークパワー制御による光量、露光量の制御は好適に適用できる。

さらに、上記実施形態では、紫外光の波長を、ArFエキシマレーザ又はF<sub>2</sub>レーザの波長とほぼ同一に設定するものとしたが、その設定波長は任意で良く、この設定すべき波長に応じて、レーザ光源160Aの発振波長や波長変換部163の構成及び高調波の倍率などを決定すれば良い。なお、設定波長は、一例

として、ウエハ上に転写すべきパターンのデザインルール（線幅、ピッチなど）に応じて決定するようにしても良く、更にはその決定に際して前述の露光条件やレチクルの種類（位相シフト型か否か）などを考慮しても良い。

なお、上記実施形態では、光ファイバ増幅器 171、それぞれから射出される光束の偏光状態を円偏光（又は楕円偏光）に揃えるための偏光調整装置 16D を設けるとともに、これらの光束の全てを 1 枚の四分の一波長板 162 によって同一方向の直線偏光に変換して射出する場合について説明したが、例えば、光増幅部の構成を変更等すれば、偏光調整装置や四分の一波長板は必ずしも設けなくとも良い。

#### 《変形例》

図 7 には、このように偏光調整装置や四分の一波長板（偏光方向変換装置）を不要とすることができる、光増幅部 161 の構成の一例が示されている。以下においては、重複説明を避けるため、前述した実施形態と同一若しくは同等の構成部分については同一符号を用いるとともに、その説明を省略し若しくは簡略化するものとする。

この図 7 に示される光増幅部 161 は、前述した EOM 160C からのパルス光を増幅するもので、EOM 160C からのパルス光を時間順に周期的に振り分けて分岐（例えば、128 分岐）する分岐及び遅延部 167 と、複数の光増幅器としてのファイバ増幅器 190 とを含んで構成されている。

ファイバ増幅器 190 は、直線敷設された光導波路部材としての増幅用ファイバ 175、ポンプ光を発生する励起用半導体レーザ 178、上述の EOM 160C の出力光とポンプ光とを合成し、こうして得られた合成光を増幅用ファイバ 175 に供給する WDM 179 を備えている。そして、増幅用ファイバ 175 及び WDM 179 は容器 191 に収容されている。

前記増幅用ファイバ 175 は、フォスフェイトガラスを主材とし、コアとクラッドを有し、コアに Er、あるいは Er と Yb との 2 種のイオンが高密度に

ドーブされた光ファイバが用いられている。かかるフォスフェイトガラス光ファイバには、従来のシリカガラス光ファイバよりも高密度で $E_r$ 等の希土類元素をドーブすることができ、同一の光増幅率を得るために必要なファイバ長が従来のシリカガラス光ファイバの $1/100$ 程度となる。たとえば、従来は数m～数10mの長さとなっていたものが、数cm～数10cm程度の長さで足りる。このため、増幅用ファイバ175では直線状敷設が可能となっており、この図7の変形例においても不図示の基材表面（平面）に形成された直線状のV溝に増幅用ファイバ175を敷設することにより、直線状敷設を行っている。なお、増幅用ファイバ175には、2重クラッド構造を持つダブル・クラッド・ファイバの構造を採用するが可能である。

以上のように構成されたファイバ増幅器190において、増幅用ファイバ175に、励起用半導体レーザ178が発生したポンプ光がWDM179を介して供給された状態で、WDM179を介してパルス光が入射し増幅用ファイバ175のコア中を進行すると、誘導放射が発生し、パルス光が増幅される。かかる光増幅にあたって、増幅用ファイバ175は従来のものより非常に短く、かつ、高い増幅率を有するので、入射時のパルス光の偏光状態をほぼ維持しつつ、高輝度のパルス光が出力される。また、増幅用ファイバ175の長さが非常に短いため、誘導ラマン散乱や自己位相変調によるスペクトルの広がりも小さなものとなっている。

すなわち、フォスフェイトガラスを用いて、従来のシリカガラスに比べて100倍高密度の $E_r$ をドーブする場合、従来のシリカガラスよりも、誘導ラマン散乱が起こる閾値を決める要因の1つであるラマン利得係数（Raman Gain 係数）が2倍程度となっているが、この分を考慮してもシリカガラスの場合よりも50倍程度の強度の光を出力することができる。また、単位長さ当たりの増幅率を100倍程度にできるので、同一の増幅率を得るのに必要なファイバ長を100分の1程度にすることができる。さらに、誘導ラマン散乱のしきい

値はファイバ長に反比例すると試算できるので、ファイバ長を100分の1にすることで、ラマン散乱の影響を受けずに100倍程度の強度の光を出力できる。

また、自己位相変調によるスペクトルの広がりが増幅用ファイバ175の長さにほぼ比例するが、増幅用ファイバ175の長さは従来のもよりも非常に短いので、自己位相変調によるスペクトルの広がりも従来と比べて十分に小さく抑制することができる。

従って、この変形例のファイバ増幅器190では、従来よりも高強度であり、かつ、スペクトルの広がりも小さな増幅光を得ることができる。このため、効率良く狭帯域の光を得ることができる。

また、増幅用光ファイバ175が直線状に敷設されており、かつ、ほぼ密閉構造の容器191に收容され、増幅用光ファイバ175の周囲環境がほぼ一定に維持されているので、入射時の偏光状態をほぼ維持した出力光が得られる。

前記励起用半導体レーザ178は、DFB半導体レーザ160Aにおける発振波長よりも短い波長（例えば、980nm）の光をポンプ光として発生する。このポンプ光がWDM179を介して増幅用ファイバ175に供給され、それによりErが励起され、いわゆるエネルギー準位の反転分布が発生する。なお、前述と同様、励起用半導体レーザ178は、光量制御装置16Cによって制御される。

また、この変形例では、各ファイバ増幅器190のゲインの差を抑制するため、ファイバ増幅器190で出力の一部が分岐され、それぞれの分岐端に設けられた光電変換素子181によってそれぞれ光電変換されるようになっている。これらの光電変換素子181の出力信号が光量制御装置16Cに供給されるようになっている。

光量制御装置16Cでは、各ファイバ増幅器190からの光出力が一定になるように（即ちバランスするように）、各励起用半導体レーザ178のドライブ

電流をフィードバック制御するようになっている。

また、光量制御装置 16C では、光電変換素子 182 の出力信号に基づいて波長変換器 163 における光強度をモニタし、波長変換部 163 からの光出力が所定の光出力となるように、励起用半導体レーザ 178 のドライブ電流をフィードバック制御している。

このような構成とすることにより、各ファイバ増幅器 190 の増幅率が一定化されるため、各ファイバ増幅器 190 間に偏った負荷がかかることがなく全体として均一な光強度が得られる。また、波長変換部 163 における光強度をモニタすることにより、予定される所定の光強度をフィードバックし、所望の紫外光出力を安定して得ることができる。

図 7 の光増幅部は、前述した図 3 の光増幅部に代えてそのまま採用することができ、このような図 7 の光増幅部 161 を採用した光源装置によれば、長さの短い増幅用ファイバ 175 によって高い増幅率で入射光を増幅することができる。このため、増幅用ファイバ 175 を経由することによって発生する偏光状態の変化を低減しつつ、高強度の光を波長変換部 163 に供給することができる。また、増幅にあたって光が経由する経路の長さが短くなるので、誘導ラマン散乱や自己位相変調によるスペクトルの広がりも抑制することができる。したがって、簡易な構成で狭帯域の波長変換光を効率良く発生することができる。

また、増幅用ファイバ 175 を直線状に敷設しているので、偏光状態の変化の原因となる径方向の応力の非対称性の発生を防止することができるので、入射時の偏光状態をほぼ維持した出力光を得ることができる。

また、増幅用ファイバ 175 をほぼ密閉構造を有する容器 191 に収容しているので、偏光状態の変化の原因となる増幅用ファイバ 175 の周囲環境の変化を防止することができるので、安定した波長変換を行うことができる。

以上により、結果的に、図 7 の光増幅部 161 を採用した光源装置によれば、



偏光調整装置や四分の一波長板（偏光方向変換装置）を、必ずしも設けなくても良い。

なお、上記の説明では、増幅用光ファイバ 175 として、フォスフェイトガラスを主材とする光ファイバを使用した。が、酸化ビスマス系ガラス ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ) を主材とする光ファイバを使用することも可能である。酸化ビスマス系ガラスでは、従来のシリカガラスと比べて、エルビウムのドーピング量を 100 倍程度以上にすることができ、フォスフェイトガラスの場合と同様の効果を得ることができる。また、この変形例では、増幅用ファイバとして  $\text{Er}$  ドープファイバを採用したが、 $\text{Yb}$  ドープファイバその他の希土類元素ドーピングファイバを採用することも可能である。また、増幅用光導波路部材として光ファイバ型部材に限らず、これ以外のもの、例えば平面型導波路型部材を使用することも可能である。

また、上記実施形態中では特に説明をしなかったが、本実施形態のように、193 nm 以下の露光波長により露光を行う装置の場合には、光束通過部分にはケミカルフィルタを通過したクリーンエアーや、ドライエアー、 $\text{N}_2$  ガス、若しくはヘリウム、アルゴン、クリプトン等の不活性ガスを充填させあるいはフローさせたり、該光束通過部分を真空にする等の処置が必要となる。

上記実施形態の露光装置は、本願の特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、照明光学系 12 や投影光学系 PL 等の各種光学系については光学的精度を達成するための調整（例えば、光軸合わせ）、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。このうち、各種光学系の特性の調整にあたっては、調整用（検査用）光源装置として高出力を必要としないので、上述の光源装置 16 において、1 つあるいは少数のファイバ増幅器 167 を含むよ

うに簡略化した光源装置を使用することができる。かかる場合には、露光光の波長とほぼ同一の波長の光を簡易に発生し、調整に使用することができるので、精度の良い調整を簡易な構成で低価格の光源装置によって行うことができる。なお、ファイバ増幅器 167 を 1 つのみ含むように簡略化するときは、分岐及び遅延部 167 も不要となる。

各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることは言うまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。かかる総合調整においても、必要に応じて上記の簡略化した光源装置を使用することができる。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

また、上記実施形態では、本発明に係る光源装置が露光用照明光を発生する光源装置として使用される例を説明したが、露光用照明光とほぼ同一の波長の光を必要とする上述のレチクルアライメント用の光源装置として使用することも可能である。この場合には、上述の簡略化された光源装置を使用することは勿論である。

また、上記実施形態では、本発明に係る光源装置がステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に適用された場合について説明したが、露光装置以外の装置、例えば、ウエハ上に形成された回路パターンの一部（ヒューズなど）を切断するために用いられるレーザーリペア装置などにも本発明に係る光源装置を適用することができる。また、本発明に係る光源装置は可視光または赤外光を用いる検査装置などにも適用することができる。そしてこの場合には前述の波長変換部を光源装置に組み込む必要がない。すなわち、本発明は紫外レーザー装置だけでなく、可視域または赤外域の基本波を発生する、波長変換部がない

レーザ装置に対しても有効なものである。

さらに、露光装置以外の装置、例えば光学式検査装置等における光源装置としても、本発明の光源装置は利用可能である。また、眼底に紫外光を照射して視力矯正を行う装置などの光源装置としても利用可能であり、さらにはエキシマレーザが適用される各種装置でも、本発明の光源装置は利用可能である。

また、本発明は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に限らず、静止露光型、例えばステップ・アンド・リピート方式の露光装置（ステッパなど）にも好適に適用できるものである。更にはステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置、ミラープロジェクション・アライナーなどにも適用できる。

なお、上記実施形態で示した投影光学系や、照明光学系はほんの一例であって、本発明がこれに限定されないことは勿論である。例えば、投影光学系として屈折光学系に限らず、反射光学素子のみからなる反射系、又は反射光学素子と屈折光学素子とを有する反射屈折系（カタディオプトリック系）を採用しても良い。波長200nm程度以下の真空紫外光（VUV光）を用いる露光装置では、投影光学系として反射屈折系を用いることも考えられる。この反射屈折型の投影光学系としては、例えば特開平8-171054号公報及びこれに対応する米国特許第5,668,672号、並びに特開平10-20195号公報及びこれに対応する米国特許第5,835,275号などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタと凹面鏡とを有する反射屈折系、又は特開平8-334695号公報及びこれに対応する米国特許第5,689,377号、並びに特開平10-3039号公報及びこれに対応する米国特許出願第873,605号（出願日：1997年6月12日）などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタを用いずに凹面鏡などを有する反射屈折系を用いることができる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及びこれらに対応する米国特許、及び米

国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

この他、米国特許第5, 488, 229号、及び特開平10-104513号公報に開示される、複数の屈折光学素子と2枚のミラー（凹面鏡である主鏡と、屈折素子又は平行平板の入射面と反対側に反射面が形成される裏面鏡である副鏡）とを同一軸上に配置し、その複数の屈折光学素子によって形成されるレチクルパターンの中間像を、主鏡と副鏡とによってウエハ上に再結像させる反射屈折系を用いても良い。この反射屈折系では、複数の屈折光学素子に続けて主鏡と副鏡とが配置され、照明光が主鏡の一部を通して副鏡、主鏡の順に反射され、さらに副鏡の一部を通してウエハ上に達することになる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

また、上記実施形態では、オプティカルインテグレータ（ホモジナイザ）としてフライアイレンズ系を用いるものとしたが、その代わりにロッド・インテグレータを用いるようにしてもよい。ロッド・インテグレータを用いる照明光学系では、ロッド・インテグレータはその射出面がレチクルRのパターン面とほぼ共役になるように配置されるので、例えばロッド・インテグレータの射出面に近接して前述の固定レチクルブラインド30Aや可動レチクルブラインド30Bを配置しても良い。

勿論、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCDなど）、マイクロマシン、DNAチップの製造、さらにはレチクルやマスクの製造などに用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。

#### 《デバイス製造方法》

次に、上述した露光装置及び露光方法をリソグラフィ工程で使用したデバイ

スの製造方法の実施形態について説明する。

図8には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図8に示されるように、まず、ステップ201（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ202（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ203（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ204（ウエハ処理ステップ）において、ステップ201～ステップ203で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ205（デバイス組立ステップ）において、ステップ204で処理されたウエハを用いてデバイス組立を行う。このステップ205には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

最後に、ステップ206（検査ステップ）において、ステップ205で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図9には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ204の詳細なフロー例が示されている。図9において、ステップ211（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ212（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ213（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ214（イオン打込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ211～ステップ214それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成してお

り、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ215（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ216（露光ステップ）において、上で説明した露光装置10を用いてマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ217（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ218（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ219（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法によると、露光工程（ステップ216）において上記実施形態の露光装置10及びその露光方法を用いて露光が行われるので、露光精度の向上により、高集積度のデバイスを歩留まり良く生産することができる。

#### 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明の光源装置は、高精度な光量制御を行うのに適している。また、本発明の波長安定化制御方法は、レーザ光の中心波長を所定の設定波長に設定維持するのに適している。また、本発明の露光装置及び露光方法は、集積回路等のマイクロデバイスを製造するリソグラフィ工程において、微細パターンをウエハ等の基板上に精度良く形成するのに適している。また、本発明に係るデバイス製造方法は、微細なパターンを有するデバイスの製造に適している。

### 請 求 の 範 囲

1. 単一波長の光を発生する光源装置であって、

単一波長の光を発生する光発生部と；

前記光発生部の出力段に並列に配置された複数の光ファイバから成るファイバ群と；

前記各光ファイバからの光出力を個別にオン・オフすることにより前記ファイバ群から出力される光の光量を制御する光量制御装置と；を備える光源装置。

2. 請求項 1 に記載の光源装置において、

前記ファイバ群を構成する前記複数の光ファイバは、それぞれの少なくとも出力端部が束ねられてバンドルファイバが構成されていることを特徴とする光源装置。

3. 請求項 1 に記載の光源装置において、

前記各光ファイバを含んで構成される各光経路の一部には、光増幅を行うことができるファイバ増幅器が少なくとも 1 段設けられ、

前記光量制御装置は、前記各光ファイバからの前記光出力のオン・オフを前記ファイバ増幅器の励起用光源からの励起光の強度の切り換えにより行うことを特徴とする光源装置。

4. 請求項 3 に記載の光源装置において、

前記光量制御装置は、前記励起用光源からの励起光の強度を所定レベルと零レベルとのいずれかに択一的に設定することにより前記励起光の強度の切り換えを行うことを特徴とする光源装置。

5. 請求項 4 に記載の光源装置において、

前記光量制御装置は、前記励起用光源をオン・オフすることにより、前記励起光の強度を所定レベルと零レベルとのいずれかに択一的に設定することを特徴とする光源装置。

6. 請求項 3 に記載の光源装置において、

前記光量制御装置は、前記励起用光源からの励起光の強度を所定の第 1 レベルと該第 1 レベルより小さい第 2 レベルとのいずれかに択一的に設定することにより前記励起光の強度の切り換えを行うことを特徴とする光源装置。

7. 請求項 3 に記載の光源装置において、

前記各光経路には、前記ファイバ増幅器が複数段設けられ、

前記光量制御装置は、前記各光ファイバからの前記光出力のオン・オフを最終段のファイバ増幅器の励起用光源からの励起光の強度の切り換えにより行うことを特徴とする光源装置。

8. 請求項 7 に記載の光源装置において、

前記最終段の前記ファイバ増幅器は、他の段のファイバ増幅器に比べてモードフィールド径が大きいことを特徴とする光源装置。

9. 請求項 1 に記載の光源装置において、

前記各光ファイバからの光出力のオン・オフ状況に対応する出力強度マップが予め記憶された記憶装置を更に備え、

前記光量制御装置は、前記出力強度マップと所定の設定光量とに基づいて前記各光ファイバからの光出力を個別にオン・オフすることを特徴とする光源装置。

10. 請求項 9 に記載の光源装置において、

前記出力強度マップは、予め測定された各ファイバ出力のばらつきに基づいて作成されていることを特徴とする光源装置。

11. 請求項 9 に記載の光源装置において、

前記各光ファイバから出力される前記光の波長を変換する波長変換部を更に備え、

前記出力強度マップは、予め測定された前記各ファイバ出力に対応する波長変換効率のばらつきに起因する出力のばらつきを更に考慮して作成されている



ことを特徴とする光源装置。

12. 請求項11に記載の光源装置において、

前記光発生部は、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生し、

前記波長変換部は、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力することを特徴とする光源装置。

13. 請求項12に記載の光源装置において、

前記光発生部は、波長1.5  $\mu\text{m}$ 付近の単一波長のレーザ光を発生し、

前記波長変換部は、前記波長1.5  $\mu\text{m}$ 付近の前記レーザ光の8倍高調波及び10倍高調波のいずれかを発生することを特徴とする光源装置。

14. 請求項1に記載の光源装置において、

前記各光ファイバから出力される前記光の波長を変換する波長変換部を更に備えることを特徴とする光源装置。

15. 請求項14に記載の光源装置において、

前記光発生部は、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生し、

前記波長変換部は、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力することを特徴とする光源装置。

16. 請求項15に記載の光源装置において、

前記光発生部は、波長1.5  $\mu\text{m}$ 付近の単一波長のレーザ光を発生し、

前記波長変換部は、前記波長1.5  $\mu\text{m}$ 付近の前記レーザ光の8倍高調波及び10倍高調波のいずれかを発生することを特徴とする光源装置。

17. 請求項1に記載の光源装置において、

前記光発生部は、単一波長の光を発生する光源と、前記光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有し、

前記光量制御装置は、前記光変調器から出力されるパルス光の周波数及びピ

ークパワーの少なくとも一方を更に制御することを特徴とする光源装置。

18. 請求項1に記載の光源装置において、

前記複数の光ファイバそれぞれからの光出力を個別に遅延させて、前記光出力を時間的にずらして行わせる遅延部を更に備えることを特徴とする光源装置。

19. 請求項1に記載の光源装置において、

前記光発生部は、レーザ光を発振するレーザ光源を有し、

前記レーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化に関連する前記レーザ光の光学特性をモニタするビームモニタ機構と；

前記ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションを行う波長キャリブレーション制御装置と；を更に備えることを特徴とする光源装置。

20. 請求項19に記載の光源装置において、

前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；

前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置と；を更に備えることを特徴とする光源装置。

21. 請求項20に記載の光源装置において、

前記各光ファイバを含んで構成される各光経路の一部には、光増幅を行うことができるファイバ増幅器が少なくとも1段設けられ、

前記ファイバ増幅器は、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光ファイバを光導波路部材として有することを特徴とする光源装置。

22. 単一波長の光を発生する光源装置であって、

単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有する光発生部と；

前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも１段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；

前記光変調器から出力される前記パルス光の周波数を制御することにより前記ファイバ増幅器からの出力光の光量を制御する光量制御装置と；を備える光源装置。

２３． 請求項２２に記載の光源装置において、

前記光増幅部に入力するパルス光の周波数に応じた前記光増幅部の出力強度マップが記憶された記憶装置を更に備え、

前記光量制御装置は、前記出力強度マップと所定の設定光量とに基づいて前記光変調器から出力される前記パルス光の周波数を制御することを特徴とする光源装置。

２４． 請求項２２に記載の光源装置において、

前記光量制御装置は、前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを更に制御することを特徴とする光源装置。

２５． 請求項２２に記載の光源装置において、

前記光変調器は、電気光学変調器であり、

前記光量制御装置は、前記光変調器に印加する電圧パルスの周波数を制御することにより、前記パルス光の周波数を制御することを特徴とする光源装置。

２６． 請求項２２に記載の光源装置において、

前記光増幅部は複数並列に設けられ、

前記各光増幅部の光出力端部は光ファイバによりそれぞれ構成されていることを特徴とする光源装置。

２７． 請求項２６に記載の光源装置において、

前記複数の光増幅部をそれぞれ構成する前記複数の光ファイバは、束ねられてバンドルファイバが構成されていることを特徴とする光源装置。

２８． 請求項２２に記載の光源装置において、

前記光増幅部から出力される光の波長を変換する波長変換部を更に備えることを特徴とする光源装置。

29. 請求項28に記載の光源装置において、

前記光発生部は、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生し、

前記波長変換部は、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力することを特徴とする光源装置。

30. 請求項29に記載の光源装置において、

前記光発生部は、波長1.5  $\mu\text{m}$ 付近の単一波長のレーザ光を発生し、

前記波長変換部は、前記波長1.5  $\mu\text{m}$ 付近の前記レーザ光の8倍高調波及び10倍高調波のいずれかを発生することを特徴とする光源装置。

31. 単一波長の光を発生する光源装置であって、

単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有する光発生部と；

前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；

前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することにより前記光増幅部からの出力光の光量を制御する光量制御装置と；を備える光源装置。

32. 請求項31に記載の光源装置において、

前記光増幅部に入力するパルス光の強度に応じた前記光増幅部の出力強度マップが記憶された記憶装置を更に備え、

前記光量制御装置は、前記出力強度マップと所定の設定光量とに基づいて前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することを特徴とする光源装置。

33. 請求項31に記載の光源装置において、

前記光変調器は、電気光学変調器であり、

前記光量制御装置は、前記光変調器に印加する電圧パルスのピークレベルを制御することにより、前記パルス光のピークパワーを制御することを特徴とする光源装置。

34. 請求項31に記載の光源装置において、

前記光増幅部は複数並列に設けられ、

前記各光増幅部の光出力端部は光ファイバによりそれぞれ構成されていることを特徴とする光源装置。

35. 請求項34に記載の光源装置において、

前記複数の光増幅部をそれぞれ構成する前記複数の光ファイバは、束ねられてバンドルファイバが構成されていることを特徴とする光源装置。

36. 請求項34に記載の光源装置において、

前記複数の光増幅部のそれぞれからの光出力を個別に遅延させて、前記光出力を時間的にずらして行わせる遅延部を更に備えることを特徴とする光源装置。

37. 請求項31に記載の光源装置において、

前記光増幅部から出力される光の波長を変換する波長変換部を更に備えることを特徴とする光源装置。

38. 請求項37に記載の光源装置において、

前記光発生部は、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生し、

前記波長変換部は、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力することを特徴とする光源装置。

39. 請求項38に記載の光源装置において、

前記光発生部は、波長1.5  $\mu\text{m}$ 付近の単一波長のレーザ光を発生し、

前記波長変換部は、前記波長1.5  $\mu\text{m}$ 付近の前記レーザ光の8倍高調波及び10倍高調波のいずれかを発生することを特徴とする光源装置。

40. 請求項22又は31に記載の光源装置において、

前記光発生部は、前記光源としてレーザ光を発振するレーザ光源を有し、

前記レーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化に関連する前記レーザ光の光学特性をモニタするビームモニタ機構と；

前記ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションを行う波長キャリブレーション制御装置と；を更に備えることを特徴とする光源装置。

41. 請求項40に記載の光源装置において、

前記光増幅部は、複数並列に設けられ、

前記複数の光増幅部をそれぞれ構成する前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；

前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置と；を更に備えることを特徴とする光源装置。

42. 請求項41に記載の光源装置において、

前記ファイバ増幅器は、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光ファイバを光導波路部材として有することを特徴とする光源装置。

43. レーザ光を発振するレーザ光源と；

前記レーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化に関連する前記レーザ光の光学特性をモニタするビームモニタ機構と；

前記ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションを行う第1の制御装置と；を備える光源装置。

44. 請求項43に記載の光源装置において、

前記設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源を更に備え、

前記第1の制御装置は、前記絶対波長提供源から提供される絶対波長に対し

て前記ビームモニタ機構の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行うとともに、前記温度依存性のデータに基づいて前記検出基準波長を前記設定波長に一致させる設定波長キャリブレーションを行うことを特徴とする光源装置。

45. 請求項44に記載の光源装置において、

前記ビームモニタ機構は、ファブリペロー・エタロンを含み、

前記温度依存性のデータは、前記ファブリペロー・エタロンの共鳴波長の温度依存性の測定結果に基づくデータを含み、

前記第1の制御装置は、前記ビームモニタ機構を構成する前記ファブリペロー・エタロンの温度を制御することにより、前記検出基準波長の前記絶対波長キャリブレーション及び前記設定波長キャリブレーションを行うことを特徴とする光源装置。

46. 請求項44に記載の光源装置において、

前記温度依存性のデータは、前記レーザ光源から発振される前記レーザ光の中心波長の温度依存性のデータを更に含み、

前記第1の制御装置は、前記絶対波長キャリブレーションを行う際に、前記レーザ光源の波長制御をも併せて行うことを特徴とする光源装置。

47. 請求項44に記載の光源装置において、

前記絶対波長提供源は、前記レーザ光が入射する吸収セルであり、

前記第1の制御装置は、前記絶対波長キャリブレーションを行う際に、前記吸収セルの前記設定波長に最も近い吸収線の吸収が最大となり、かつ前記ファブリペロー・エタロンの透過率が最大となるようにすることを特徴とする光源装置。

48. 請求項43に記載の光源装置において、

前記レーザ光源からのレーザ光を増幅するファイバ増幅器を更に備えることを特徴とする光源装置。

49. 請求項48に記載の光源装置において、

前記増幅されたレーザ光の波長を変換する非線形光学結晶を含む波長変換器を更に備えることを特徴とする光源装置。

50. 請求項43に記載の光源装置において、

前記設定波長キャリブレーションの終了後に、前記設定波長キャリブレーションが終了した前記ビームモニタ機構のモニタ結果に基づいて、前記レーザ光源からの前記レーザ光の波長をフィードバック制御する第2の制御装置を更に備えることを特徴とする光源装置。

51. 請求項43に記載の光源装置において、

前記レーザ光源の出力段に並列に配置され、ファイバ増幅器をそれぞれ含む複数の光増幅部と；

前記複数の光増幅部をそれぞれ構成する前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；

前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置と；を更に備えることを特徴とする光源装置。

52. 請求項51に記載の光源装置において、

前記ファイバ増幅器は、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光ファイバを光導波路部材として有することを特徴とする光源装置。

53. 複数の光ファイバと；

前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；

前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置と；を備える光源装置。

54. 請求項53に記載の光源装置において、



前記偏光調整装置は、前記各光ファイバを介した複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ円偏光とし、

前記偏光方向変換装置は、四分の一波長板を有することを特徴とする光源装置。

55. 請求項54に記載の光源装置において、

前記光ファイバはほぼ円筒対称の構造を有し、

前記偏光調整装置は、前記各光ファイバに入射する複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ円偏光とすることを特徴とする光源装置。

56. 請求項53に記載の光源装置において、

前記偏光調整装置は、前記各光ファイバを介した複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ同一の楕円偏光とし、

前記偏光方向変換装置は、偏波面を回転する二分の一波長板と、前記二分の一波長板と光学的に直列接続された四分の一波長板とを有することを特徴とする光源装置。

57. 請求項53に記載の光源装置において、

前記複数の光ファイバそれぞれは、前記複数の光ファイバに入射する複数の光束それぞれを増幅対象光とする光ファイバ増幅器を構成する、前記増幅対象光が導波される光ファイバであることを特徴とする光源装置。

58. 請求項54に記載の光源装置において、

前記光ファイバは、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材として形成されていることを特徴とする光源装置。

59. 請求項53に記載の光源装置において、

前記複数の光ファイバに入射する前記複数の光束それぞれは、パルス光列であることを特徴とする光源装置。

60. 請求項53に記載の光源装置において、

前記複数の光ファイバに入射する前記複数の光束それぞれは、前記複数の光ファイバへ入射する前に１段以上の光ファイバ増幅器によって増幅された光束であることを特徴とする光源装置。

６１． 請求項５３に記載の光源装置において、

前記偏光調整装置は、前記複数の光ファイバよりも上流側に配置された光学部品の光特性を制御して偏光調整を行うことを特徴とする光源装置。

６２． 請求項５３に記載の光源装置において、

前記複数の光ファイバは、ほぼ並行に束ねられていることを特徴とする光源装置。

６３． 請求項５３に記載の光源装置において、

前記偏光方向変換装置から射出された光束を、少なくとも１つの非線形光学結晶を介させることにより、波長変換を行う波長変換器を更に備えることを特徴とする光源装置。

６４． 請求項６３に記載の光源装置において、

前記複数の光ファイバから射出される光は赤外域及び可視域のいずれかの波長を有し、前記波長変換器から射出される光は紫外域の波長を有することを特徴とする光源装置。

６５． 請求項６４に記載の光源装置において、

前記複数の光ファイバから射出される光は１５４７nm付近の波長を有し、前記波長変換器から射出される光は１９３．４nm付近の波長を有することを特徴とする光源装置。

６６． 希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光導波路部材を含み、入射光を増幅する光増幅器と；

前記光増幅器から射出された光の波長を変換する波長変換器と；を備える光源装置。

67. 請求項66に記載の光源装置において、

前記光導波路部材は、光を導波するコアと、前記コアの周囲に設けられたクラッドとを有する光ファイバであることを特徴とする光源装置。

68. 請求項67に記載の光源装置において、

前記光ファイバは直線状に敷設されることを特徴とする光源装置。

69. 請求項67に記載の光源装置において、

前記光増幅器は、少なくとも前記光ファイバを収容する容器を更に含むことを特徴とする光源装置。

70. 請求項66に記載の光源装置において、

前記波長変換器は、波長変換を行う少なくとも1つの非線形光学結晶を含む、ことを特徴とする光源装置。

71. レーザ光源から発振されるレーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化制御方法であって、

前記レーザ光の波長を検出する波長検出装置の検出基準波長の温度依存性を予め測定する第1工程と；

前記設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して前記波長検出装置の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行う第2工程と；

前記第1工程で求めた前記温度依存性に基づいて、前記波長検出装置の前記検出基準波長を前記設定波長に設定する第3工程とを含む波長安定化制御方法。

72. 請求項71に記載の波長安定化制御方法において、

前記波長検出装置は、ファブリペロー・エタロンであり、

前記第1工程で前記波長検出装置の共鳴波長の温度依存性を測定し、

前記第2工程で前記波長検出装置の温度を制御することにより前記共鳴波長を前記絶対波長にほぼ一致させ、

前記第3工程で前記波長検出装置の温度を制御することにより前記共鳴波長

を前記設定波長に設定することを特徴とする波長安定化制御方法。

7 3. 請求項 7 2 に記載の波長安定化制御方法において、

前記絶対波長提供源は、前記レーザ光が入射する吸収セルであり、

前記第 2 工程では、前記吸収セルの前記設定波長に最も近い吸収線の吸収が最大となり、かつ前記波長検出装置の透過率が最大となるようにすることを特徴とする波長安定化制御方法。

7 4. 請求項 7 1 に記載の波長安定化制御方法において、

前記第 1 工程では前記レーザ光の中心波長の温度依存性をも予め計測し、

前記第 2 工程では、前記レーザ光の波長制御をも併せて行うことを特徴とする波長安定化制御方法。

7 5. 請求項 7 1 に記載の波長安定化制御方法において、

前記第 3 工程で前記検出基準波長が前記設定波長に設定された前記波長検出装置の検出結果に基づいて前記レーザ光源からの前記レーザ光の波長を制御する第 4 工程を更に含むことを特徴とする波長安定化制御方法。

7 6. 請求項 7 4 又は 7 5 に記載の波長安定化制御方法において、

前記レーザ光の波長制御は、前記レーザ光源の温度、供給電流の少なくとも一方を制御することにより行うことを特徴とする波長安定化制御方法。

7 7. マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、

赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生する光発生部と；

前記光発生部の出力段に並列に配置された複数の光ファイバから成るファイバ群と；

前記各光ファイバからの光出力を個別にオン・オフすることにより前記ファイバ群から出力されるレーザ光の光量を制御する光量制御装置と；

前記各光ファイバから出力される前記レーザ光の波長を変換し、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力する波長変換部と；

前記波長変換部から出力される前記紫外光を露光用照明光として前記マスクを照明する照明光学系と；備える露光装置。

78. 請求項77に記載の露光装置において、

前記各光ファイバからの光出力のオン・オフ状況に対応する出力強度マップが予め記憶された記憶装置を更に備え、

前記光量制御装置は、前記出力強度マップと所定の設定光量とに基づいて前記各光ファイバからの光出力を個別にオン・オフすることにより前記ファイバ群から出力されるレーザ光の光量を制御することを特徴とする露光装置。

79. 請求項77に記載の露光装置において、

前記光発生部は、単一波長のレーザ光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有し、

前記光量制御装置は、前記光変調器から出力される前記パルス光の周波数を制御することにより、前記ファイバ群から出力されるレーザ光の光量を更に制御することを特徴とする露光装置。

80. 請求項79に記載の露光装置において、

前記光量制御装置は、前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することにより、前記ファイバ群から出力されるレーザ光の光量を更に制御することを特徴とする露光装置。

81. マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、

単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有し、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生する光発生部と；

前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；

前記光変調器から出力される前記パルス光の周波数を制御することにより前記ファイバ増幅器からの出力光の光量を制御する光量制御装置と；

前記光増幅部から出力されるレーザ光の波長を変換し、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力する波長変換部と；

前記波長変換部から出力される前記紫外光を露光用照明光として前記マスクを照明する照明光学系とを備える露光装置。

82. 請求項81に記載の露光装置において、

前記光量制御装置は、前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することにより前記光増幅部からの出力光の光量を更に制御することを特徴とする露光装置。

83. マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、

単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光を所定周波数のパルス光に変換して出力する光変調器とを有し、赤外域から可視域までの範囲内の単一波長のレーザ光を発生する光発生部と；

前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；

前記光変調器から出力される前記パルス光のピークパワーを制御することにより前記光増幅部からの出力光の光量を制御する光量制御装置と；

前記光増幅部から出力されるレーザ光の波長を変換し、前記レーザ光の高調波である紫外光を出力する波長変換部と；

前記波長変換部から出力される前記紫外光を露光用照明光として前記マスクを照明する照明光学系と；を備える露光装置。

84. マスクに形成されたパターンを基板上に繰り返し転写する露光装置であって、

単一波長の光を発生する光源と、前記光源からの光をパルス光に変換する光変調器とを有する光発生部と；

前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と；

前記増幅されたパルス光を前記マスクに照射して、該マスクを介して前記基板を露光する際に、その露光対象領域の基板上の位置に応じて前記光変調器を介して前記パルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方を制御する制御装置とを備える露光装置。

85. マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、  
単一波長の光を発生する光源と、前記光源からの光をパルス光に変換する光変調器とを有する光発生部と；

前記パルス光を増幅する光ファイバ増幅器を少なくとも各1段含み、前記光発生部の出力段に並列に配置された複数の光経路から成る光増幅部と；

前記光増幅部からの前記パルス光を前記マスクに照射して、該マスクを介して前記基板を露光する際に、前記各光経路からの光出力を個別にオン・オフすることにより前記光増幅部から出力されるパルス光の光量を制御する制御装置とを備える露光装置。

86. 請求項84又は85に記載の露光装置において、

前記光源は、赤外域又は可視域のレーザ光を発生し、

前記光増幅部で増幅された前記パルス光を紫外光に波長変換する波長変換部を更に備えることを特徴とする露光装置。

87. レーザ光によりマスクを照明し、該マスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、

前記レーザ光を発振するレーザ光源と、前記レーザ光の中心波長を所定の設定波長に維持するための波長安定化に関連する前記レーザ光の光学特性をモニタするビームモニタ機構と、前記設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源とを有する光源装置と；

前記レーザ光源から発振される前記レーザ光の中心波長及び前記ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性の測定データから成る温度依存性マップが記憶された記憶装置と；

前記絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して前記ビームモニタ機構の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行うとともに、前記温度依存性マップに基づいて前記検出基準波長を前記設定波長に一致させる設定波長キャリブレーションを行う第1の制御装置と；

前記光源装置から射出されるレーザ光の波長を前記設定波長キャリブレーションが終了した前記ビームモニタ機構のモニタ結果に基づいてフィードバック制御しつつ、前記レーザ光を前記マスクに照射して該マスクを介して前記基板を露光する第2の制御装置と；を備える露光装置。

88. 請求項87に記載の露光装置において、

前記マスクから出射された前記レーザ光を前記基板に投射する投影光学系と；

前記投影光学系の近傍の環境に関連する物理量を測定する環境センサと；

前記第2の制御装置により前記基板の露光が開始されてから所定のタイミング毎に、前記環境センサの計測値に基づいて標準状態からの前記物理量の変化に起因する前記投影光学系の結像特性の変動分をほぼ相殺するための波長変更量を計算で求め、該波長変更量に応じて前記設定波長を変更する第3の制御装置と；を更に備えることを特徴とする露光装置。

89. 請求項88に記載の露光装置において、

前記投影光学系の結像特性を補正する結像特性補正装置を更に備え、

前記結像特性補正装置は、前記第3の制御装置による前記設定波長の変更の度毎に、前記設定波長の変更により補正される前記投影光学系の結像特性の変動分を除く、結像特性変動を補正することを特徴とする露光装置。

90. 請求項87に記載の露光装置において、

前記光源装置は、前記レーザ光源からのレーザ光を増幅するファイバ増幅器と；

前記増幅されたレーザ光の波長を紫外域の波長に変換する非線形光学結晶を



含む波長変換器と；を更に備えることを特徴とする露光装置。

9 1. エネルギービームにより感光剤が塗布された基板を露光する露光装置であって、

前記エネルギービームを発生するビーム源と；

前記ビーム源から出力される前記エネルギービームの波長を変更する波長変更装置と；

前記波長変更装置により前記波長が変更されたとき、その波長変更に伴って生じる前記感光剤の感度特性の変化量に応じて前記基板に与えられる積算露光量を制御する露光量制御装置と；を備える露光装置。

9 2. 露光用ビームを基板に照射することにより、所定のパターンを基板に転写する露光装置であって、

赤外域及び可視域のいずれかの波長の光を射出する複数の光ファイバと；

前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；

前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置と；

前記偏光方向変換装置から射出された光束を、少なくとも1つの非線形光学結晶を介させることにより、波長変換を行い、紫外域の波長の光を射出する波長変換器と；

前記波長変換器から射出される光を前記露光用ビームとして前記基板に照射する光学系と；を備える露光装置。

9 3. 露光光を基板に照射して所定のパターンを形成する露光装置であって、

希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光導波路部材を含み、入射光を増幅する光増幅器と；

前記光増幅器から射出された光の波長を変換する波長変換器と；

前記波長変換器から射出される光を前記露光光として前記基板に照射する光

学系とを備える露光装置。

94. 請求項93に記載の露光装置において、

前記光導波路部材は、光を導波するコアと、前記コアの周囲に設けられたクラッドとを有する光ファイバであることを特徴とする露光装置。

95. 請求項93に記載の露光装置において、

前記波長変換器は、200nm以下の波長の前記露光光を発生することを特徴とする露光装置。

96. マスクに形成されたパターンを基板上に繰り返し転写する露光方法であって、

パルス光をファイバ増幅器を用いて少なくとも1回増幅する第1工程と；

前記増幅されたパルス光を前記マスクに照射し、該マスクを介して前記基板上の露光対象領域を露光する第2工程と；

前記第1工程の処理に先立って、光源からのレーザ光を前記パルス光に変換するとともに、前記露光対象領域の基板上的位置に応じて前記パルス光の周波数及びピークパワーの少なくとも一方を制御する第3工程と；を含む露光方法。

97. 請求項96に記載の露光方法において、

前記ファイバ増幅器は、複数並列に設けられ、

前記第1工程では、選択されたファイバ増幅器のみを用いて前記パルス光の増幅を行うことを特徴とする露光方法。

98. 請求項96に記載の露光方法において、

前記光源は、赤外域又は可視域のレーザ光を発生し、

前記パルス光が前記マスクに照射される前に前記増幅されたパルス光を紫外光に波長変換する第4工程を更に含むことを特徴とする露光方法。

99. レーザ光により基板を露光して所定のパターンを基板上に形成する露光方法であって、

露光開始に先立って、前記レーザ光の波長を検出する波長検出装置の検出基

準波長の温度依存性を予め測定する第1副工程と、前記設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して前記波長検出装置の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行う第2副工程と、前記第1副工程で求めた前記温度依存性に基づいて、前記波長検出装置の前記検出基準波長を前記設定波長に設定する第3副工程との処理を順次行う第1工程と；

しかる後、前記第3副工程で前記検出基準波長が前記設定波長に設定された前記波長検出装置の検出結果に基づいて前記レーザ光源からの前記レーザ光の波長を制御しつつ、基板を前記レーザ光で繰り返し露光する第2工程と；を含む露光方法。

100. 請求項99に記載の露光方法において、

前記レーザ光の経路に配置された光学系が更に設けられ、

前記光学系の光学性能の変動をキャンセルするために前記設定波長を変更する第3工程を更に含むことを特徴とする露光方法。

101. 露光光を、光学系を介して基板に照射して所定のパターンを形成する露光装置の製造方法において、

前記光学系の特性の調整を、請求項66～70のいずれか一項に記載の光源装置が発生した前記露光光の波長を含む所定幅の波長帯に属する波長の光を使用して行うことを特徴とする露光装置の製造方法。

102. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項77～85、87～95のいずれか一項に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

103. 請求項102に記載のデバイス製造方法により製造されたデバイス。

104. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項96～100のいずれか一項に記載の露光方法を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

1 0 5 . 請求項 1 0 4 に記載のデバイス製造方法により製造されたデバイス。

Fig. 1

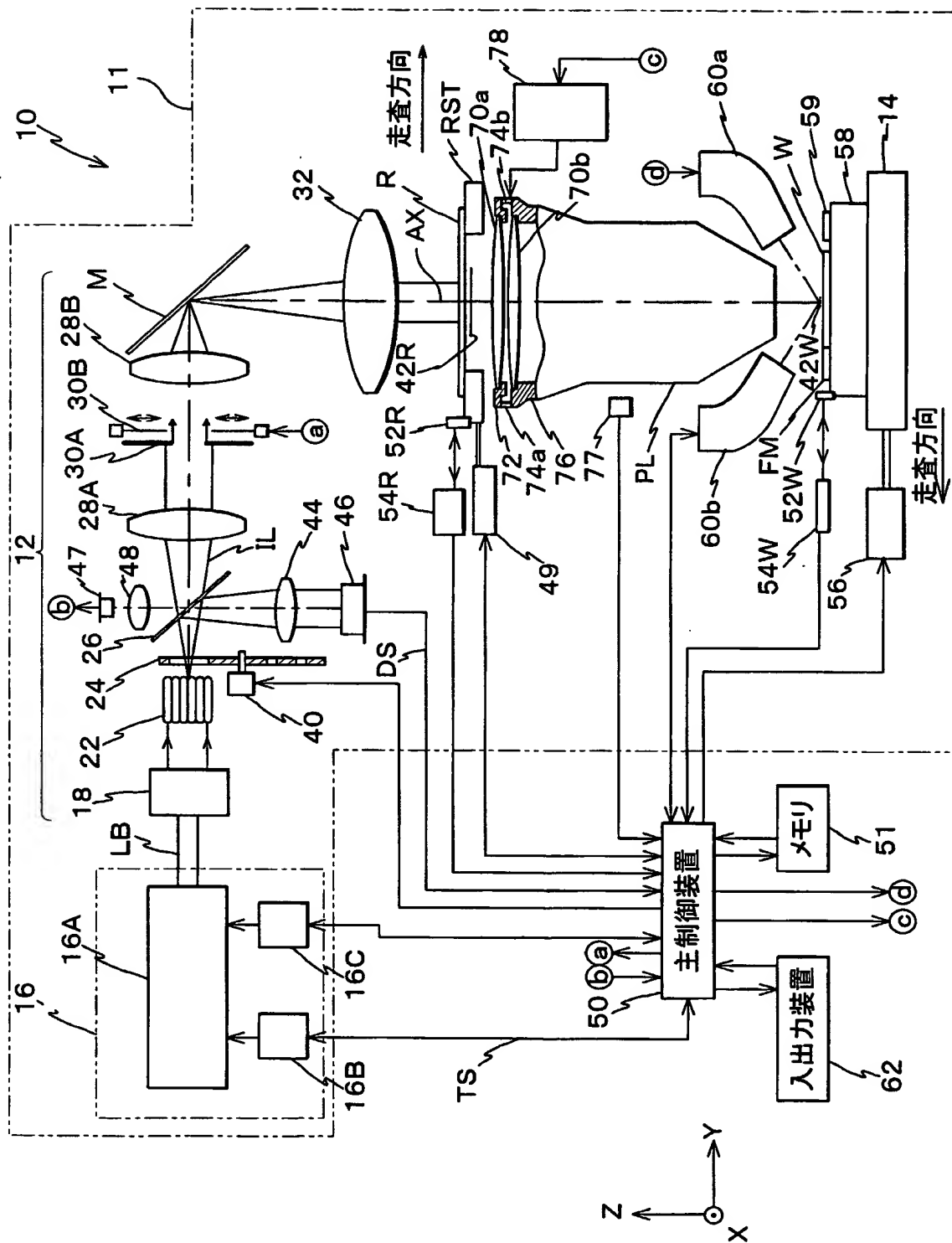
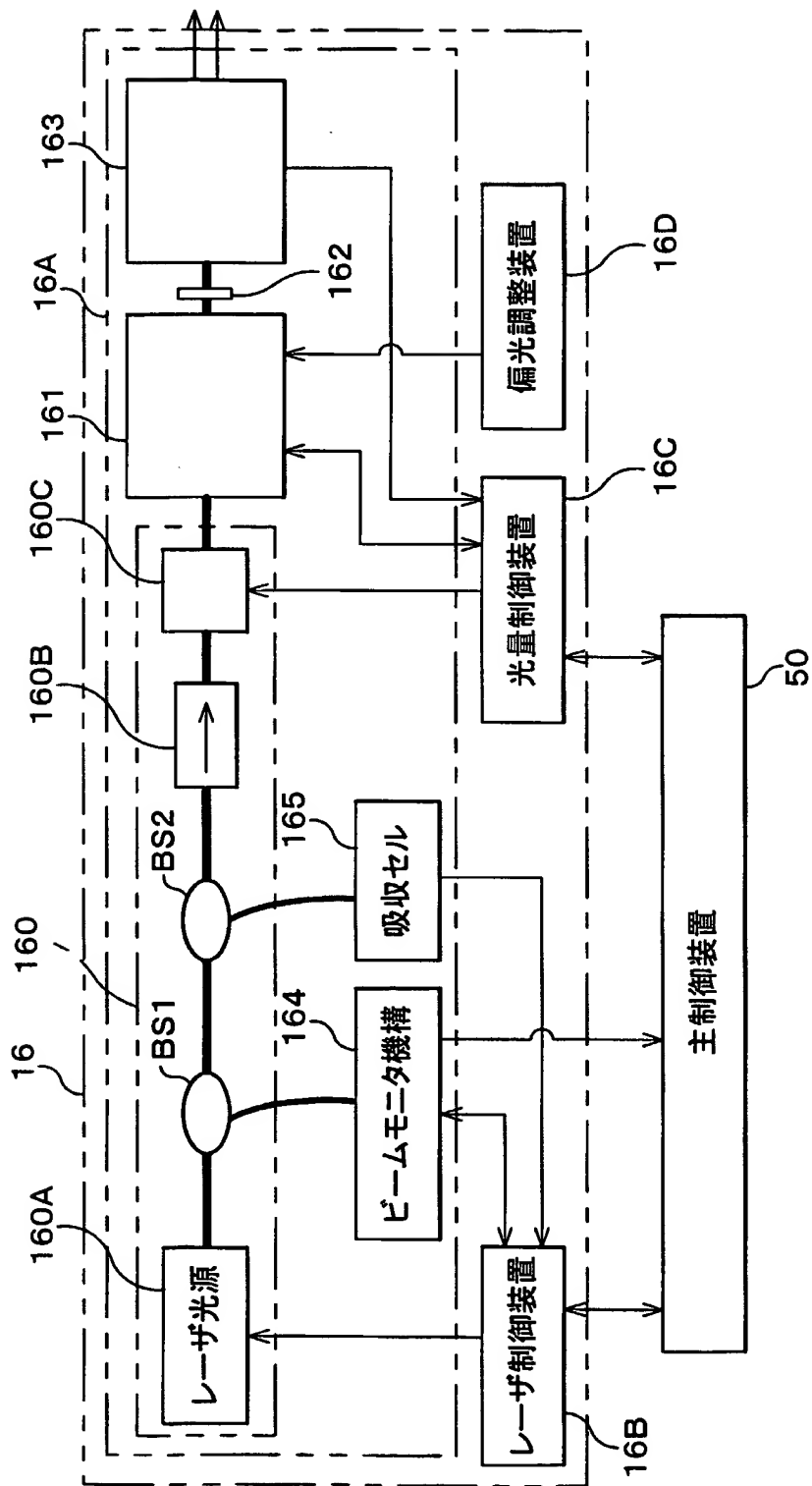




Fig. 2

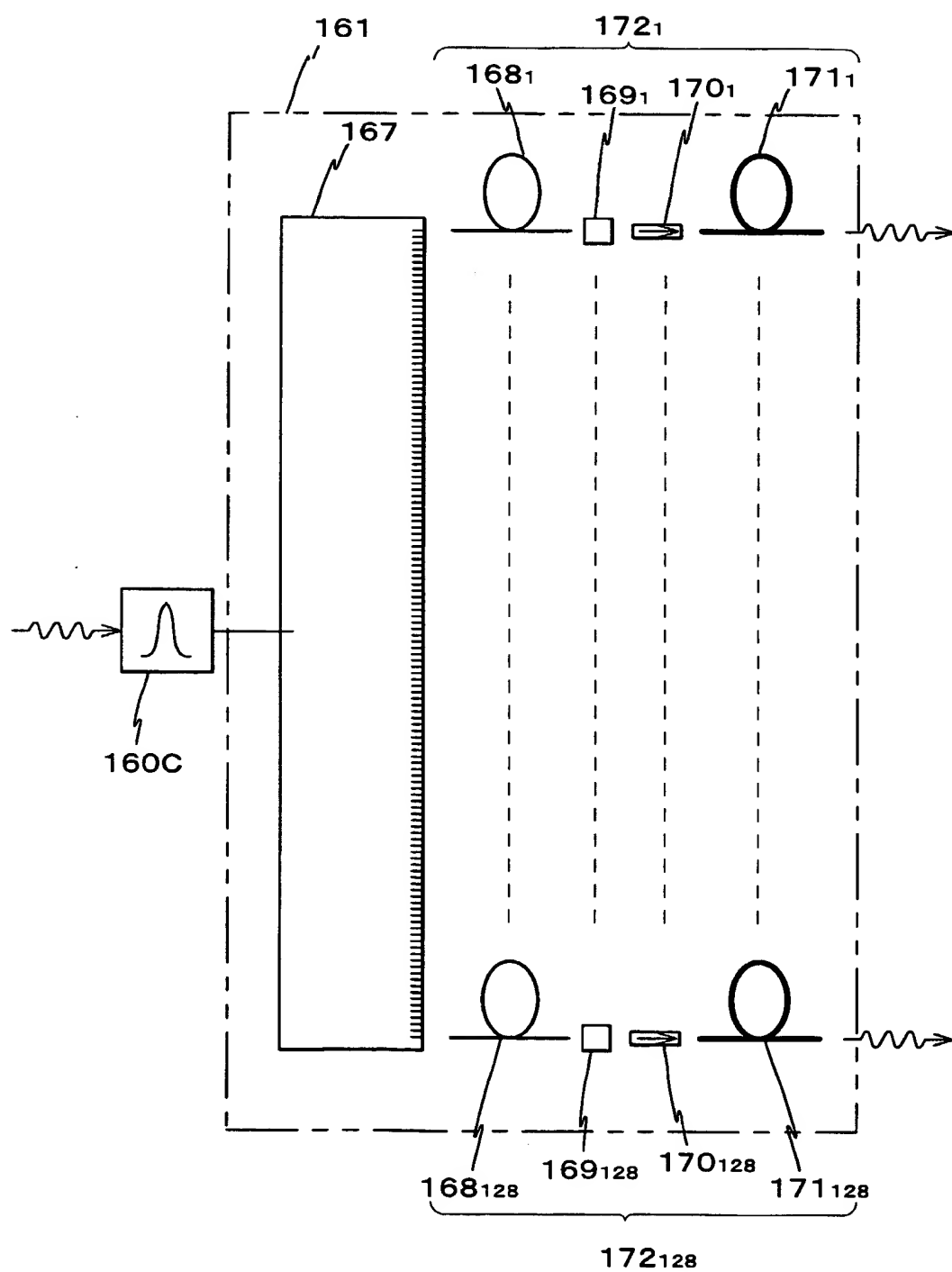






3 / 9

Fig. 3





4 / 9

Fig. 4

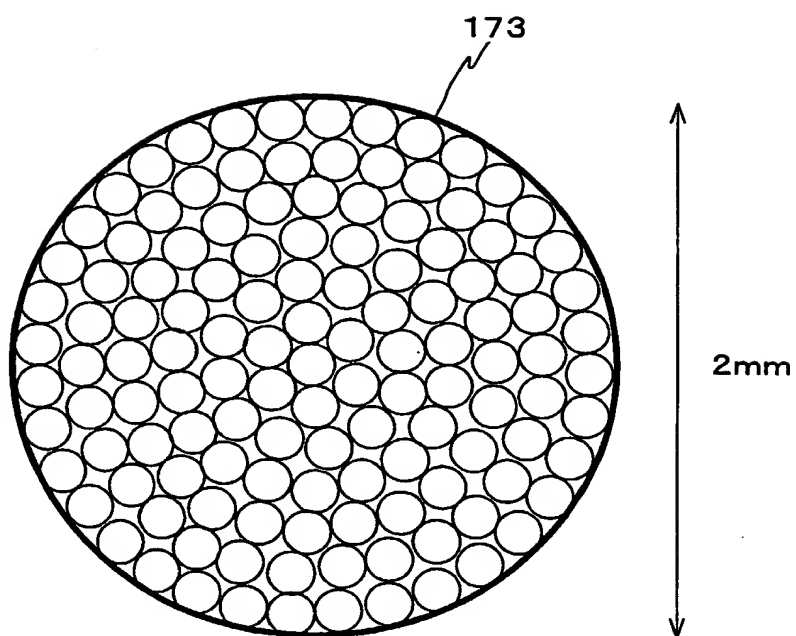




Fig. 5

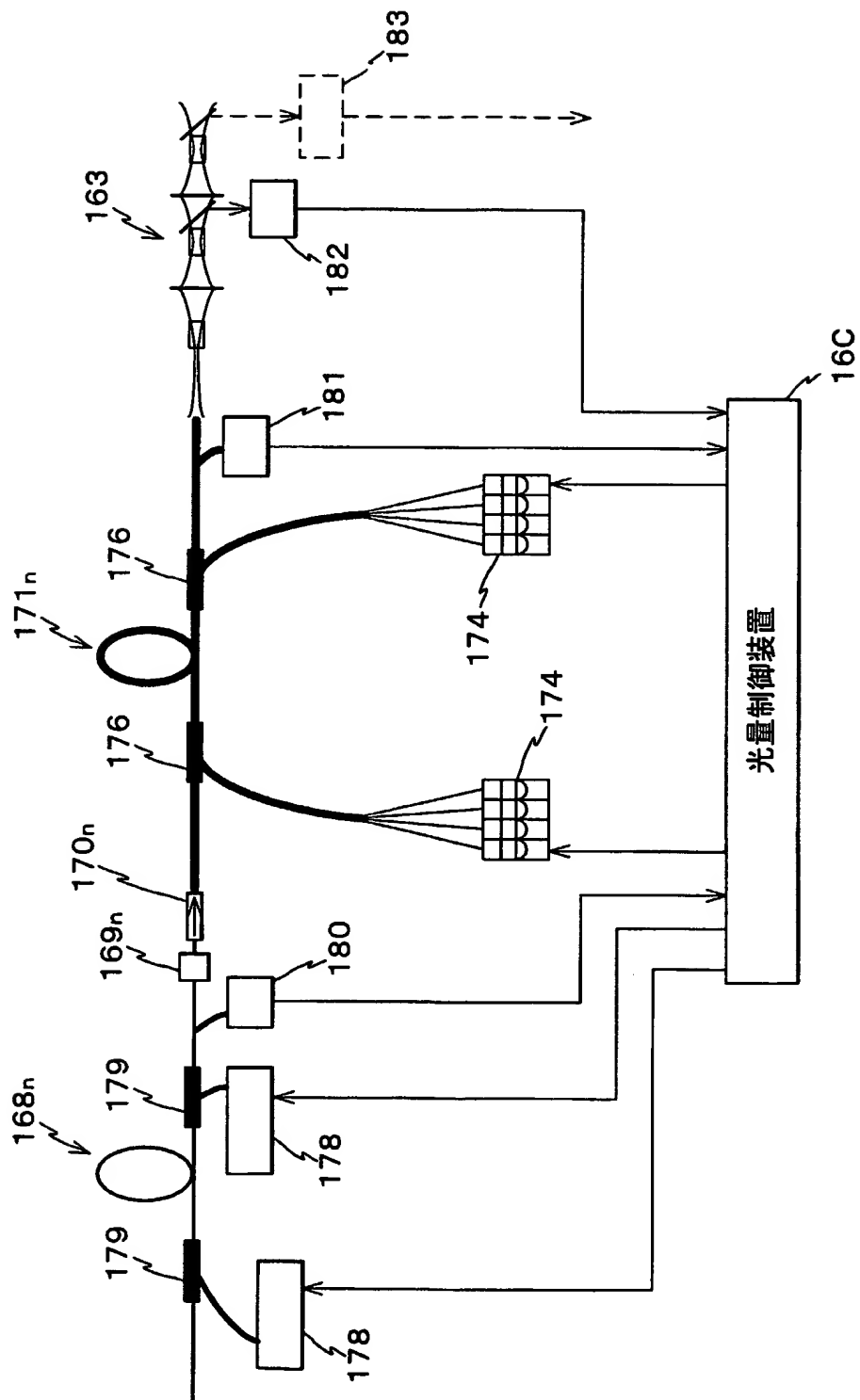




Fig. 6A

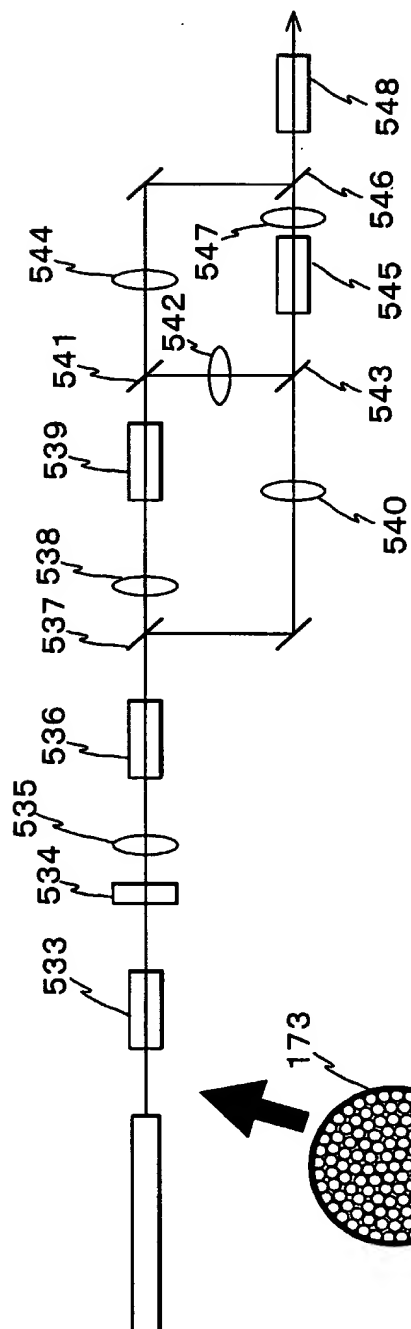


Fig. 6B

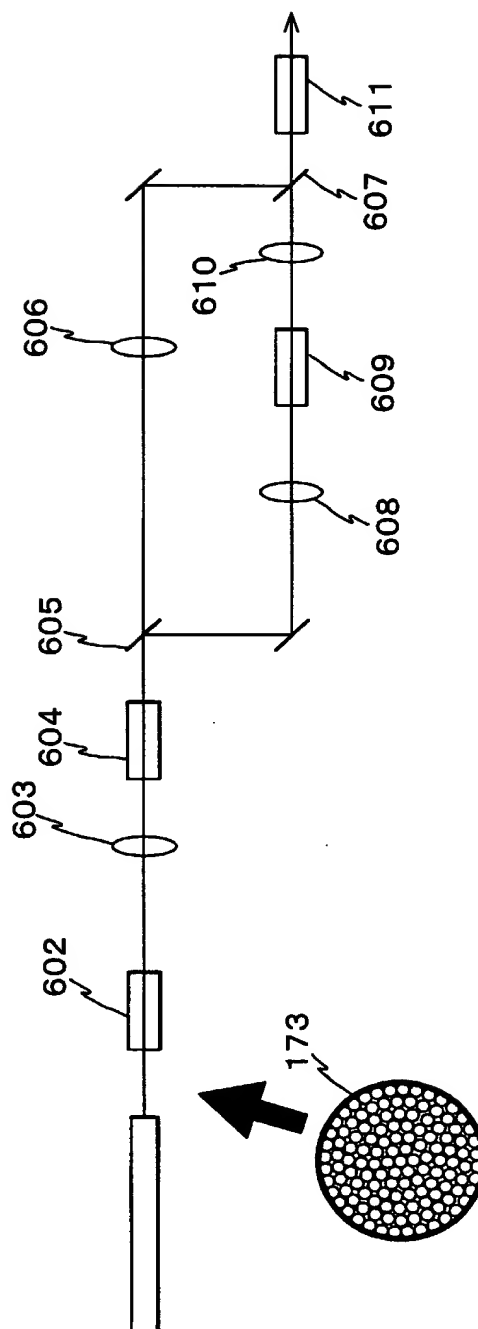
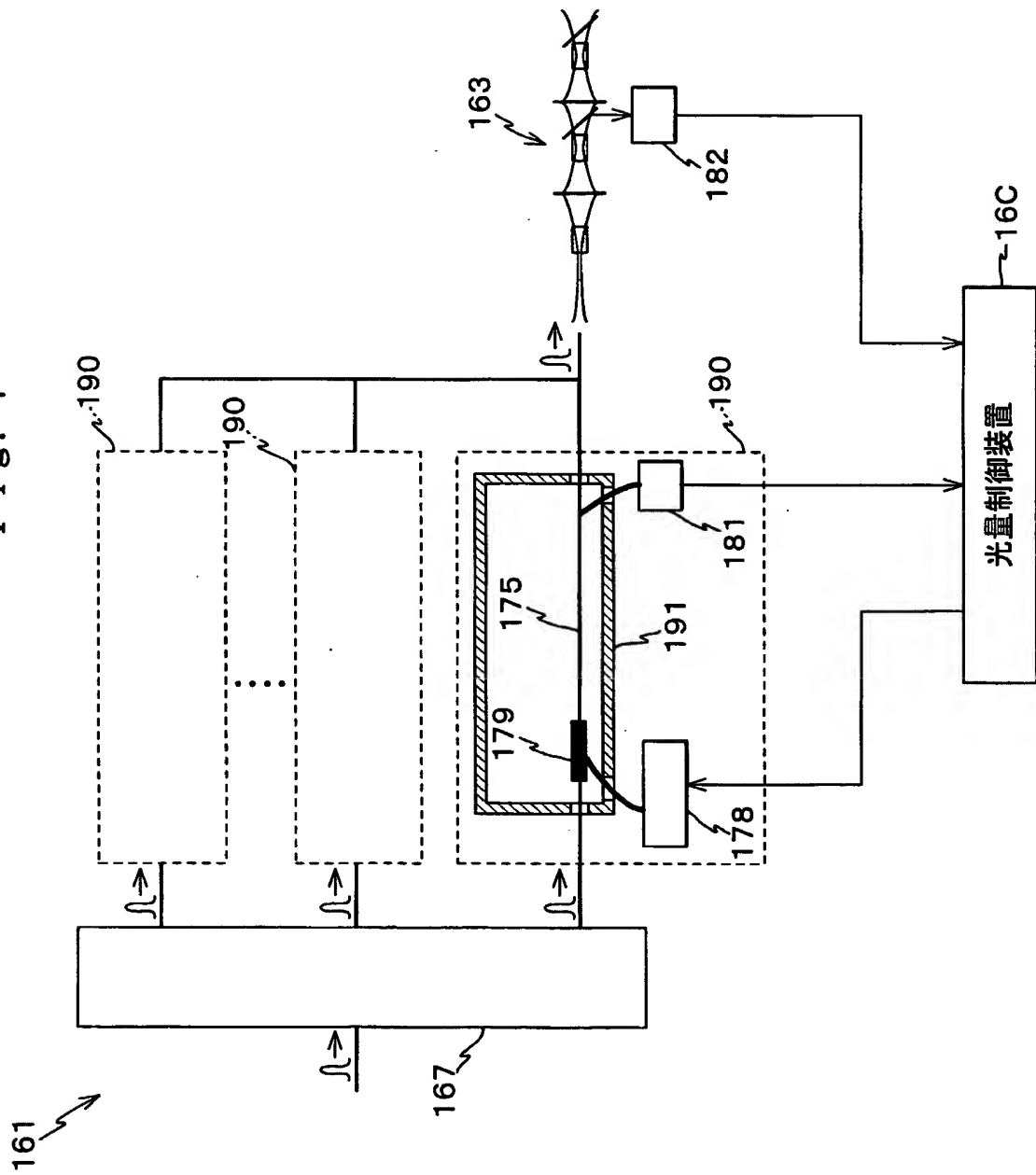






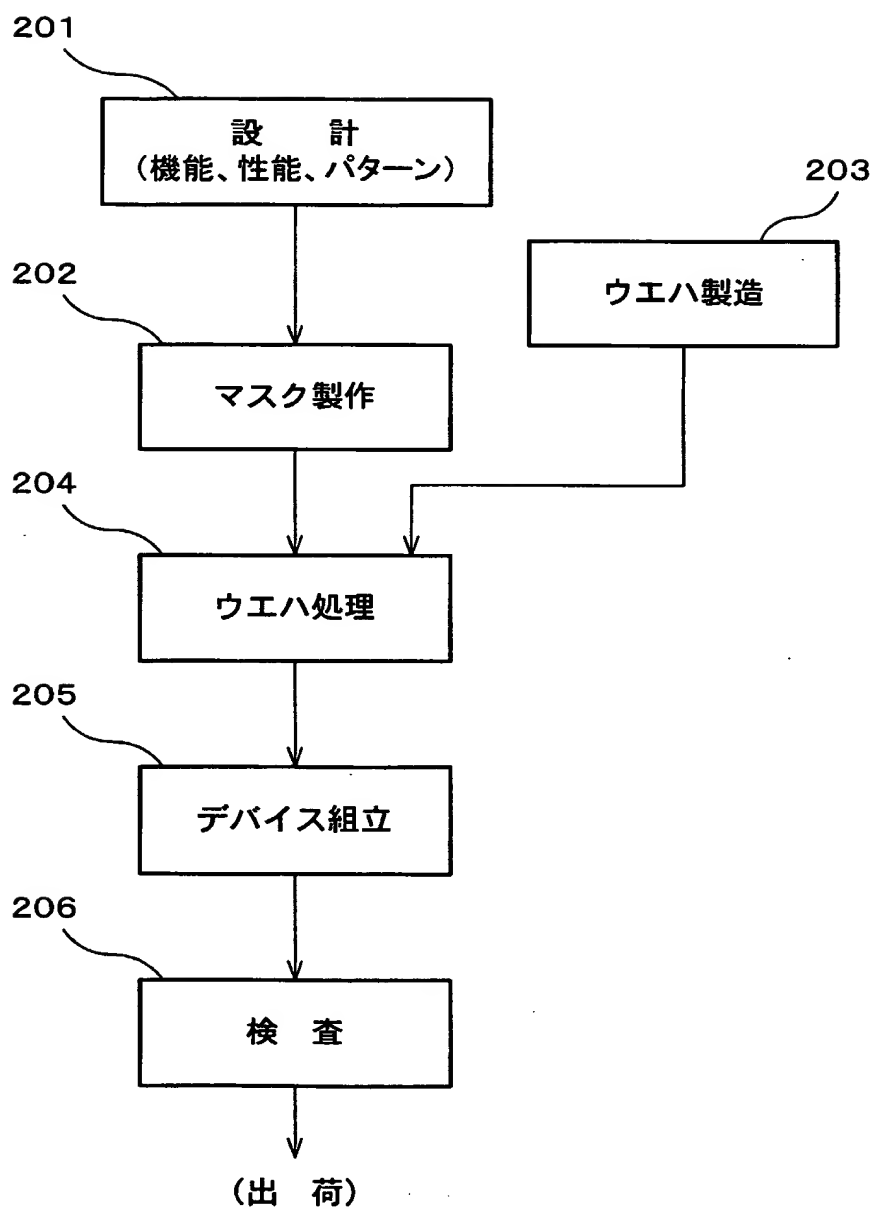
Fig. 7





8 / 9

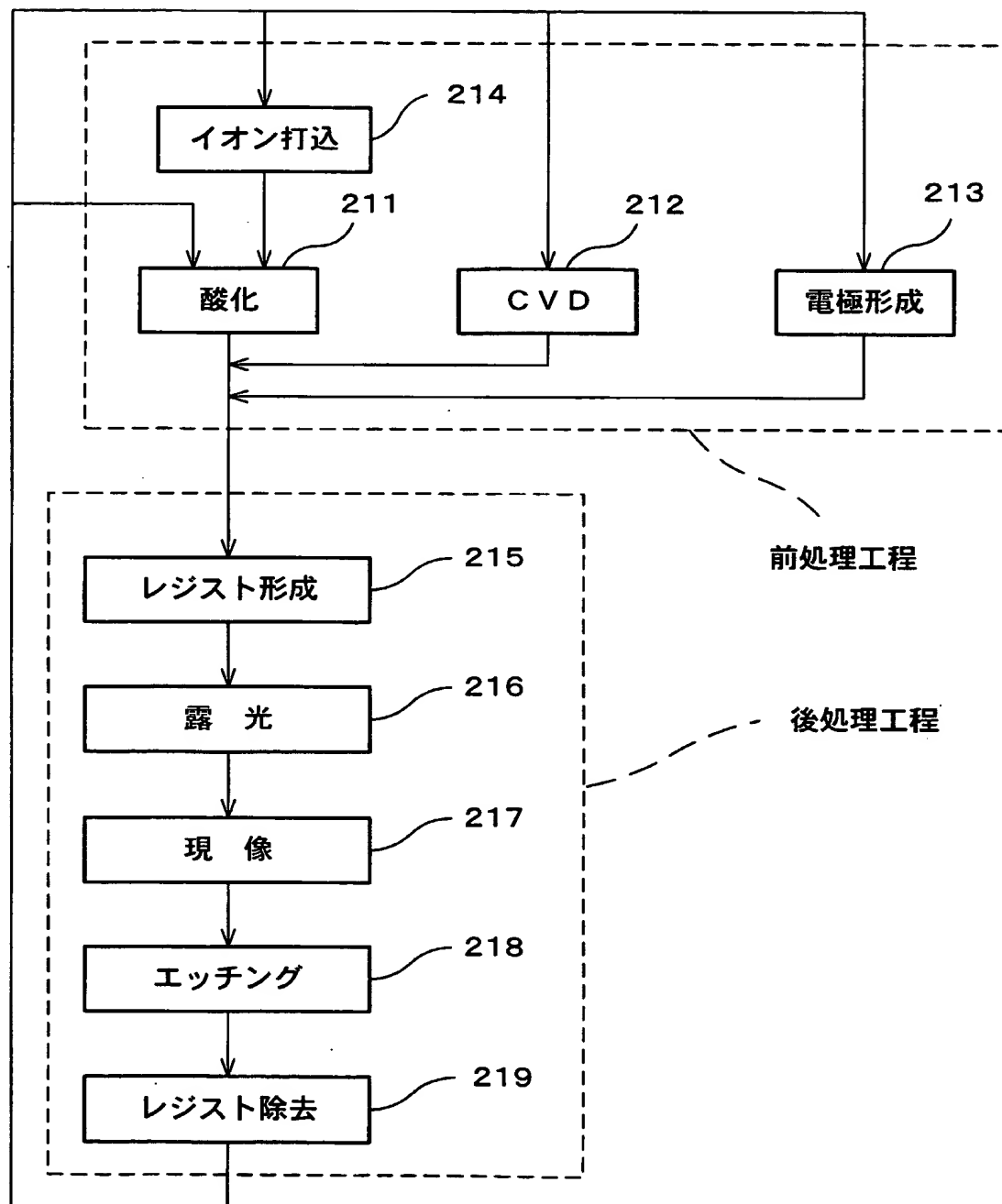
Fig. 8





9 / 9

Fig. 9





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/05875

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> H01S3/131, 3/00  
G02F1/01, 1/37

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> H01S3/00-3/30  
G02F1/00-1/125, 1/35-1/39

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1940-1996 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2000 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2000 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                   | Relevant to claim No.                      |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Y         | JP, 08-334803, A (Nikon Corporation),<br>17 December, 1996 (17.12.96),<br>Fig. 1; Claims 1 to 4; Par. Nos. 39 to 45, 50, 146<br>(Family: none)                                                       | 1-30, 40-42,<br>77-80, 85, 86,<br>102, 103 |
| Y         | EP, 889335, A2 (Hoya Corporation),<br>07 January, 1999 (07.01.99),<br>Fig. 1; Claim 1<br>& JP, 11-023878, A                                                                                          | 1-30, 40-42,<br>77-80, 85, 86,<br>102, 103 |
| Y         | EP, 859435, A2 (Corning Incorporated,<br>Northern Telecom Limited),<br>19 August, 1998 (19.08.98),<br>Fig. 14; pp.12-13<br>& JP, 11-068216, A & GB, 2322228, A<br>& AU, 5301498, A & WO, 98036294, A | 7, 8, 19-21,<br>40-42                      |
| A         | JP, 04-022928, A (NEC Corporation),<br>27 January, 1992 (27.01.92),<br>Full text (Family: none)                                                                                                      | 7, 8                                       |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> | <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Date of the actual completion of the international search  
29 November, 2000 (29.11.00)

Date of mailing of the international search report  
12 December, 2000 (12.12.00)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/05875

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                              | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP, 03-235924, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>),<br>21 October, 1991 (21.10.91),<br>Fig. 5; example 3 (Family: none)                                                                                                                                                    | 7, 8                  |
| A         | JP, 05-291676, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>),<br>05 November, 1993 (05.11.93),<br>Claim 1 (Family: none)                                                                                                                                                             | 19-21, 40-42          |
| A         | JP, 05-037066, A (NEC Corporation),<br>12 February, 1993 (12.02.93),<br>Full text (Family: none)                                                                                                                                                                                | 19-21, 40-42          |
| A         | JP, 59-055083, A (Fujitsu Limited),<br>29 March, 1984 (29.03.84),<br>Full text (Family: none)                                                                                                                                                                                   | 19-21, 40-42          |
| A         | US, 4790619, A (American Telephone and Telegraph<br>Company),<br>13 December, 1988 (13.12.88),<br>Claims 1, 3<br>& JP, 63-011916, A & EP, 248517, A2<br>& DK, 207887, A & CA, 1277404, A                                                                                        | 21, 42                |
| A         | US, 4923279, A (British Telecommunications plc),<br>08 May, 1990 (08.05.90),<br>Column 2, lines 18 to 24<br>& JP, 01-145881, A & EP, 313209, A1<br>& GB, 8724736, A & CA, 1327845, A<br>& GR, 3006615, T & ES, 2052736, T<br>& HK, 128796, A & SG, 47966, A<br>& DE, 3856092, T | 21, 42                |
| A         | JP, 55-044758, A (NEC Corporation),<br>29 March, 1980 (29.03.80),<br>Full text (Family: none)                                                                                                                                                                                   | 21, 42                |
| A         | JP, 54-125189, A (Matsushita Electric Ind. Co., Ltd.),<br>28 September, 1979 (28.09.79),<br>Full text (Family: none)                                                                                                                                                            | 21, 42                |
| A         | JP, 11-004031, A (Nikon Corporation),<br>06 January, 1999 (06.01.99),<br>Full text (Family: none)                                                                                                                                                                               | 20, 41, 42            |



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/05875

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. The inventions of claims 1-30, 40-42, 77-80, 85, 86 relate to a light source or for producing a single wavelength light an exposure apparatus, involving a technical feature of comprising an optical amplifying unit comprising a group of optical fibers or light paths and a control unit for controlling the intensity of light outputted from each optical fiber or the optical amplifying unit by independently turning on/off the intensity of light outputted from each optical fiber or the optical amplifying unit, and the inventions of claims 102, 103 relate to a technical matter in which the use of the exposure apparatus is limited to device manufacture.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
  
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
  
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:  
Claims 1-30, 40-42, 77-80, 85, 86, 102, 103.

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet (1)

2. The inventions of claims 31-42, 83, 84, 86 relate to a light source or exposure apparatus involving a technical feature comprising a light producing unit having a light source for producing a single wavelength light and a light modulator for converting the light from the light source to an optical pulse, an optical amplifying unit having at least one fiber amplifier for amplifying the optical pulse produced by the light producing unit, and a control unit for controlling the peak power of the optical pulse; the inventions of claims 96-98 relate to an exposure method adopted to the exposure apparatus; and the inventions of claims 102, 103 relate to a technical matter in which the use of the exposure apparatus is limited to device manufacture.

3. The inventions of claims 43-52 relate to a light source involving a technical feature of comprising a first control unit for calibrating the wavelength according to the data on the temperature dependence of the measurement reference wavelength of a beam monitoring mechanism.

4. The inventions of claims 53-65, 92 relate to a light source or an exposure apparatus involving a technical feature comprising a polarization adjuster for causing the polarizations of the beams of light of the same wavelength transmitted through optical fibers to agree with each other and a polarization direction converting unit for converting all the beams through the optical fibers to linearly polarized beams having the same polarization direction; and the inventions of claims 102, 103 relate to a technical matter in which the use of the exposure apparatus is limited to device manufacture.

5. The inventions of claims 66-70, 93-95 relate to a light source or an exposure apparatus involving a technical feature comprising an optical waveguide member mainly made of either phosphate glass to which a rare earth element is added or bismuth oxide glass and an optical amplifier for amplifying an incident light beam; the invention of claim 101 relates to an adjusting method applied to the exposure apparatus; and the inventions of claims 102, 103 relate to a technical matter in which the use of the exposure apparatus is limited to device manufacture.

6. The inventions of claims 71-76, 99, 100 relate to a wavelength stabilization control method or an exposure method involving a technical feature of including a first step of previously measuring the temperature dependence of the measurement reference wavelength of a wavelength sensor for measuring the wavelength of a laser beam, a second step of performing absolute wavelength calibration to cause the measurement reference wavelength of the wavelength sensor to agree with an absolute wavelength, approximate to a preset wavelength, provided by an absolute wavelength providing source for providing the absolute wavelength, and a third step of setting the measurement reference wavelength of the wavelength sensor at the preset wavelength; the inventions of claims 87-90 relate to an exposure apparatus comprising a control unit for adopting the control method or the exposure method; and the inventions of claims 104, 105 relate to a device manufacturing method in which the exposure method is used in a lithography step and a device.

7. The inventions of claims 81, 82, 84, 86 relate to an exposure apparatus involving a technical feature of comprising a light producing unit having a light source for producing a single wavelength light and a light modulator for converting the light from the light source to an optical pulse, an optical amplifying unit having at least one fiber amplifier for amplifying the optical pulse produced by the light producing unit, and a control unit for controlling the frequency of the optical pulse; the inventions of claims 96-98 relate to an exposure method adopted to the exposure apparatus; the inventions of claims 102, 103 relate to a technical matter in which the use of the exposure apparatus is limited to device manufacture; and the inventions of claims 104, 105 relate to a device manufacturing method in which the exposure method is used in a lithography step and a device.

8. The invention of claim 91 relates to an exposure apparatus involving a technical feature of comprising an exposure control unit for controlling the integral exposure applied to a substrate according to the variation of the sensitivity characteristic of the photosensitive agent caused by a change of wavelength.

There is no technical relationship among the eight groups of inventions involving one or more of the same or corresponding special technical features.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S3/131, 3/00  
G02F1/01, 1/37

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S3/00-3/30  
G02F1/00-1/125, 1/35-1/39

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1940-1996  
日本国公開実用新案公報 1971-1996  
日本国登録実用新案公報 1994-2000  
日本国実用新案登録公報 1996-2000

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                 | 関連する<br>請求の範囲の番号                           |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Y               | JP, 08-334803, A (株式会社ニコン)<br>17. 12月. 1996 (17. 12. 96)<br>図1、請求項1-4、段落39-45, 50, 146<br>(ファミリーなし)               | 1-30, 40-42,<br>77-80, 85, 86,<br>102, 103 |
| Y               | EP, 889335, A2 (Hoya Corporation)<br>7. 1月. 1999 (07. 01. 99) Fig. 1, Claim 1<br>& JP, 11-023878, A               | 1-30, 40-42,<br>77-80, 85, 86,<br>102, 103 |
| Y               | EP, 859435, A2 (Corning Incorporated,<br>Northern Telecom Limited)<br>19. 8月. 1998 (19. 08. 98) Fig. 14, p. 12-13 | 7, 8, 19-21,<br>40-42                      |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

29. 11. 00

国際調査報告の発送日

12.12.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小原 博生



2K

8102

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                                                                                             | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|                       | & JP, 11-068216, A & GB, 2322228, A<br>& AU, 5301498, A & WO, 98036294, A                                                                                                                                                                                     |                  |
| A                     | JP, 04-022928, A (日本電気株式会社)<br>27. 1月. 1992 (27. 01. 92) 全文<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                                                                      | 7,8              |
| A                     | JP, 03-235924, A (日本電信電話株式会社)<br>21. 10月. 1991 (21. 10. 91) 第5図、実施例3<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                                                             | 7,8              |
| A                     | JP, 05-291676, A (日本電信電話株式会社)<br>5. 11月. 1993 (05. 11. 93) 請求項1<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                                                                  | 19-21, 40-42     |
| A                     | JP, 05-037066, A (日本電気株式会社)<br>12. 2月. 1993 (12. 02. 93) 全文<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                                                                      | 19-21, 40-42     |
| A                     | JP, 59-055083, A (富士通株式会社)<br>29. 3月. 1984 (29. 03. 84) 全文<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                                                                       | 19-21, 40-42     |
| A                     | US, 4790619, A<br>(American Telephone and Telegraph Company)<br>13. 12月. 1988 (13. 12. 88) Claim 1, 3<br>& JP, 63-011916, A & EP, 248517, A2<br>& DK, 207887, A & CA, 1277404, A                                                                              | 21, 42           |
| A                     | US, 4923279, A (British Telecommunications plc)<br>8. 5月. 1990 (08. 05. 90) 第2欄第18-24行<br>& JP, 01-145881, A & EP, 313209, A1<br>& GB, 8724736, A & CA, 1327845, A<br>& GR, 3006615, T & ES, 2052736, T<br>& HK, 128796, A & SG, 47966, A<br>& DE, 3856092, T | 21, 42           |
| A                     | JP, 55-044758, A (日本電気株式会社)<br>29. 3月. 1980 (29. 03. 80) 全文<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                                                                      | 21, 42           |
| A                     | JP, 54-125189, A (松下電器産業株式会社)<br>28. 9月. 1979 (28. 09. 79) 全文<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                                                                    | 21, 42           |
| A                     | JP, 11-004031, A (株式会社ニコン)<br>6. 1月. 1999 (06. 01. 99) 全文<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                                                                        | 20, 41, 42       |

## 第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

1. 請求の範囲1-30, 40-42, 77-80, 85-86は、複数の光ファイバから成るファイバ群又は複数の光経路を有する光増幅部と各光ファイバ又は各光経路からの光出力を個別にオン・オフすることにより前記ファイバ群又は前記光増幅部から出力される光の光量を制御する制御装置を備える点に技術的特徴のある単一波長の光を発生する光源装置又は露光装置に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、

2. 請求の範囲31-42, 83-84, 86は、単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光をパルス光に変換する光変調器とを有する光発生部と、前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と、前記パル

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。  
請求の範囲1-30, 40-42, 77-80, 85, 86, 102, 103

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

## 第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見の続き

ス光のピークパワーを制御する制御装置を備える点に技術的特徴のある光源装置又は露光装置に関するものであり、請求の範囲96-98は、その露光装置において適用される露光方法に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、

3. 請求の範囲43-52は、ビームモニタ機構の検出基準波長の温度依存性のデータに基づいて、波長キャリブレーションを行う第1の制御装置を備える点に技術的特徴のある光源装置に関するものであり、

4. 請求の範囲53-65, 92は、複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と、前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置を備える点に技術的特徴のある光源装置又は露光装置に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、

5. 請求の範囲66-70, 93-95は、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラス及び酸化ビスマス系ガラスのいずれかを主材とする光導波路部材を含み、入射光を増幅する光増幅器を備える点に技術的特徴のある光源装置又は露光装置に関するものであり、請求の範囲101は、その露光装置において適用される調整方法に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、

6. 請求の範囲71-76, 99-100は、レーザ光の波長を検出する波長検出装置の検出基準波長の温度依存性を予め測定する第1工程と、設定波長に近い絶対波長を提供する絶対波長提供源から提供される絶対波長に対して前記波長検出装置の検出基準波長をほぼ一致させる絶対波長キャリブレーションを行う第2工程と、第1工程で求めた前記温度依存性に基づいて、前記波長検出装置の前記検出基準波長を前期設定波長に設定する第3工程を含む点に技術的特徴のある波長安定化制御方法又は露光方法に関するものであり、請求の範囲87-90は、その制御方法又は露光方法を使用するための制御装置を備える露光装置に関するものであり、請求の範囲104-105は、その露光方法をリソグラフィ工程で用いるデバイス製造方法及びデバイスに関するものであり、

7. 請求の範囲81-82, 84, 86は、単一波長の光を発生する光源と、該光源からの光をパルス光に変換する光変調器とを有する光発生部と、前記光発生部によって発生されたパルス光を増幅する少なくとも1段のファイバ増幅器を含む光増幅部と、前記パルス光の周波数を制御する制御装置を備える点に技術的特徴のある露光装置に関するものであり、請求の範囲96-98は、その露光装置において適用される露光方法に関するものであり、請求の範囲102-103は、その露光装置の用途をデバイス製造用に限定したものであり、請求の範囲104-105は、その露光方法をリソグラフィ工程で用いるデバイス製造方法及びデバイスに関するものであり、

8. 請求の範囲91は、波長が変更されたとき、その波長変更に伴って生じる感光剤の感度特性の変化量に応じて基板に与えられる積算露光量を制御する露光量制御装置を備える点に技術的特徴のある露光装置に関するものである。

そして、これら8つの発明群の間に一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係があるものとは認められない。